



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI - UNIVATES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
DOUTORADO EM AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO

**SUSTENTABILIDADE DA BIOMASSA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DE
ATERRO SANITÁRIO PARA GERAÇÃO DE BIOGÁS**

Claudionor de Oliveira Silva

Lajeado, dezembro de 2020

Claudionor de Oliveira Silva

SUSTENTABILIDADE DA BIOMASSA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DE ATERRO SANITÁRIO PARA GERAÇÃO DE BIOGÁS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, da Universidade do Vale do Taquari - Univates, como parte da exigência para a obtenção do grau de Doutor Ciências: Ambiente e Desenvolvimento, na área de concentração de Tecnologia e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Odorico Konrad

Coorientadora: Profa. Dra. Nélia Henriques Callado

Lajeado, dezembro de 2020

Claudionor de Oliveira Silva

SUSTENTABILIDADE DA BIOMASSA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DE ATERRO SANITÁRIO PARA GERAÇÃO DE BIOGÁS

A banca examinadora abaixo aprova a Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, da Universidade do Vale do Taquari-UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do grau de Doutor em Ciências: Ambiente e Desenvolvimento, na área de concentração de Tecnologia e Ambiente:

Prof. Dr. Odorico Konrad - Orientador
Universidade do Vale do Taquari - Univates

Profa. Dra. Nélia Henriques Callado - Coorientadora
Universidade Federal de Alagoas - Univates

Profa. Dra. Eniz Conceição Oliveira
Universidade do Vale do Taquari - Univates

Prof. Dr. Josmar Almeida Flores
Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Eduardo Miranda Ethur
Universidade do Vale do Taquari - Univates

Lajeado, 09 de dezembro de 2020

À minha esposa, Genilda de Oliveira Silva.

Aos meus filhos, Carlyson Geijne de Oliveira
Silva e Laís Stefane de Oliveira Silva.

Aos meus pais, Sebastião José da Silva (*in
memoriam*) e Maria Madalena Oliveira.

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos, primeiramente a Deus, por me guiar e dar forças ao longo de toda essa caminhada.

À minha família, em especial, à minha esposa, Genilda de Oliveira Silva, e a meus filhos, Carlyson Geijine de Oliveira Silva e Laís Stefane de Oliveira Silva, pela paciência, paciência e amor, em todos os momentos.

Ao meu neto, Guilherme de Oliveira Garcia, que, com seu sorriso, me dava mais força para prosseguir.

Ao meu Pai, Sebastião José da Silva (in memoriam), à minha mãe, Maria Madalena Oliveira, aos meus irmãos e aos demais familiares, pelo apoio e incentivo.

Aos meus amigos, pelo apoio, incentivo e ajuda.

Ao professor Dr. Odorico Konrad, pelas orientações, competência, dedicação, confiança e estímulo.

À professora Dra. Nélia Henriques Callado, por aceitar conduzir-me nessa fase da jornada.

À Liz Geise Santos de Araújo, Diretora de Serviços Especiais e de Planejamento da Superintendência Municipal de Desenvolvimento Sustentável - SUDES, pelo apoio e fornecimento de informações. Meu muito obrigado!

À V2 Ambiental - Estre, por conceder a realização do trabalho de campo no

aterro sanitário, muito obrigado.

À Munique Marder, do Centro de Pesquisa em Energia e Tecnologias Sustentáveis - CPETS/TECNOVATES - Univates/RS, pela colaboração nas análises de dados. Meu muito obrigado.

Aos professores e colegas do PPGAD, pelos ensinamentos, ajuda e amizade.

Aos colegas da Univates, pelo apoio e ajuda.

Enfim, a todos que contribuíram na minha caminhada, dando apoio e ajuda de forma direta e indireta para a realização do trabalho, meus sinceros agradecimentos.

“E graças a Deus, que sempre nos faz triunfar em cristo, e por meio de nós manifesta em todo o lugar a fragrância do seu conhecimento”.

(2 Coríntios, 2:14)

RESUMO

O uso de fontes de energias renováveis pode contribuir para a diminuição dos gases de efeito estufa (GEE) provenientes dos combustíveis fósseis e, conseqüentemente, para a proteção e a conservação da biodiversidade, por meio de tecnologias sustentáveis e da aplicação das ciências ambientais. A biomassa de resíduos sólidos de origem doméstica oriundos de aterros sanitários desempenha um papel fundamental na diminuição desses gases. Nesse sentido, o estudo objetivou analisar a sustentabilidade do potencial da biomassa dos resíduos sólidos de origem doméstica do aterro sanitário de Maceió/AL, para a produção de biogás. A pesquisa analisou a composição gravimétrica sob influências sazonais e por regiões administrativas (RA), bem como a discretização da geração *per capita* e por estratos socioeconômicos de resíduos sólidos de origem doméstica de Maceió/AL; calculou a geração de biogás com resíduos sólidos orgânicos de origem doméstica de Maceió/AL, utilizando escala laboratorial; calculou a geração quantitativa e qualitativa do biogás no aterro sanitário de Maceió; calculou a taxa de geração de biogás no aterro sanitário de Maceió a partir de modelos empíricos. Quanto aos procedimentos metodológicos, a pesquisa focou a quantificação e a composição gravimétrica de resíduos; a geração *per capita* e por extratos socioeconômicos; a cromatografia gasosa e a modelagem de geração de biogás do aterro. Como resultados, destacam-se: os resíduos orgânicos representam 67,45%; os materiais potencialmente recicláveis 20,32%; e os rejeitos representam 12,23%. A segunda constatação é que a média de massa percentual de materiais recicláveis é de 18,06% e 22,58%, do total de resíduos coletados nos meses de junho, julho, agosto e novembro, dezembro 2017 e janeiro 2018 respectivamente, o que comprova as diferenças relacionadas à sazonalidade e aos eventos festivos. A fração orgânica foi maior em regiões que abrangem bairros com estratos socioeconômicos predominantemente mais baixos. A geração *per capita* de resíduos apresentou uma média 0,59 kg/hab-1.d-1, sendo o maior valor, 0,87 kg/hab-1. d-1, observado em regiões com estrato socioeconômico mais alto. O ensaio de digestão anaeróbia, o RSOD, apresentou PBB de $817,70 \pm 13,43 \text{ m}^3$. Quanto ao TonSV-1, com alto teor de metano (percentual máximo de metano de 75,15 %), o período de incubação do substrato foi de 17 dias, o que mostra a facilidade de os microrganismos assimilarem este substrato. A vazão do biogás é diferente nos drenos; além disso, o biogás possui composição satisfatória (56,86 % de metano) para o aproveitamento

energético. A produção de biogás acumulada em 20 anos com o modelo LandGEM foi de 15.116.325 Nm³, com uma energia acumulada de 128,68 GWh e potência média de geração de 242 kW. Para o modelo Biogás, a produção acumulada é de 15.981.110 m³, com uma energia acumulada de 141,31 GWh, para uma potência média de geração de 255 kW. Conclui-se que os resíduos de origem doméstica do aterro sanitário de Maceió possui composição satisfatória para aproveitamento energético. Contudo, é necessário também investir em educação, em conscientização ambiental, informação e promoção do bem-estar social, considerando o descarte e a separação adequada de resíduos sólidos domiciliares.

Palavras-chave: Resíduos sólidos de origem doméstica. Aterro sanitário. Biomassa. Biogás. Energia renovável.

ABSTRACT

The use of renewable energy sources can contribute to the reduction of greenhouse gases (GHG) from fossil fuels and, consequently, to the protection and conservation of biodiversity, through sustainable technologies and the application of environmental sciences. The biomass of solid waste of domestic origin from landfills plays a fundamental role in reducing these gases. In this sense, the study aimed to analyze the sustainability of the biomass potential of domestic solid waste from the landfill in Maceió / AL, for the production of biogas. The research analyzed the gravimetric composition under seasonal influences and by administrative regions (RA), as well as the discretization of generation per capita and by socioeconomic strata of solid residues of domestic origin in Maceió / AL; calculated the generation of biogas with domestic solid organic waste from Maceió / AL, using a laboratory scale; calculated the quantitative and qualitative generation of biogas at the Maceió landfill; calculated the rate of biogas generation at the landfill in Maceió using empirical models. As for the methodological procedures, the research focused on the quantification and gravimetric composition of waste; per capita generation and socioeconomic extracts; gas chromatography and modeling of landfill biogas generation. As a result, the following stand out: organic waste represents 67.45%; potentially recyclable materials 20.32%; and tailings represent 12.23%. The second finding is that the average percentage of recyclable materials is 18.06% and 22.58%, of the total waste collected in the months of June, July, August and November, December 2017 and January 2018 respectively, which proves the differences related to seasonality and festive events. The organic fraction was higher in regions that cover neighborhoods with predominantly lower socioeconomic strata. Per capita generation of waste averaged 0.59 kg / inhab-1.d-1, with the highest value being 0.87 kg / inhab-1. d-1, observed in regions with higher socioeconomic strata. The anaerobic digestion test, the RSOD, showed PBB of $817.70 \pm 13.43 \text{ m}^3$. As for TonSV-1, with a high methane content (maximum methane percentage of 75.15%), the substrate incubation period was 17 days, which shows how easy it is for microorganisms to assimilate this substrate. The flow of biogas is different in the drains; in addition, biogas has a satisfactory composition (56.86% methane) for energy use. The biogas production accumulated in 20 years with the LandGEM model was 15,116,325 Nm³, with an accumulated energy of 128.68 GWh and an average generation power of 242 kW. For the Biogas model, the accumulated production is 15,981,110 m³, with an

accumulated energy of 141.31 GWh, for an average generation power of 255 kW. It is concluded that the domestic waste from the landfill in Maceió has a satisfactory composition for energy use. However, it is also necessary to invest in education, environmental awareness, information and promotion of social well-being, considering the disposal and proper separation of household solid waste.

Keywords: Solid waste of domestic origin. Landfill. Biomass. Biogas. Renewable energy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Objetivo de desenvolvimento sustentável (ODS)	96
Figura 2 - Oferta interna de energia do Brasil	102
Figura 3 - Participação de fontes renováveis na matriz energética	102
Figura 4 - Esquema da digestão anaeróbia.....	104
Figura 5 - Fases de geração de biogás em aterro sanitário	107
Figura 6 - Desenvolvimento de tecnologias de atualização de biogás distribuídas de acordo com países e anos: a) número de plantas de biometano em operação; b) localização de plantas de biometano existentes; e c) distribuição de tecnologias comerciais aplicadas	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estrutura da tese em artigos verticais	23
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CGR	Central de Gerenciamento de Resíduos de Maceió
CPETS	Centro de Pesquisa em Energia e Tecnologias Sustentáveis
GEE	Gás de Efeito Estufa
ISSN	International Standard Serial Number
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PBB	Potencial Bioquímico de Biogás
PBM	Potencial Bioquímica de Metano
PPGAD	Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento
RSOD	Resíduos Sólidos de Origem Domésticas
SLUM	Superintendência de Limpeza Urbana de Maceió
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UNIVATES	Universidade do Vale do Taquari

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO	15
1.1 Introdução	15
1.1.1 Tema	18
1.1.2 Delimitação do tema.....	19
1.1.3 Problema	19
1.1.4 Hipótese	19
1.1.5 Objetivos	19
1.1.5.1 Objetivo geral.....	19
1.1.5.2 Objetivos específicos.....	20
1.1.6 Justificativa.....	20
1.2 Estrutura da tese	21
1.2.1 Capítulos estruturais da tese	23
2 ARTIGO 1	26
3 ARTIGO 2	40
4 ARTIGO 3	59
5 ARTIGO 4	68
6 ARTIGO 5	76
7 DISCUSSÃO GERAL.....	93
7.1 Discussão integrada dos artigos	93
7.2 Alternativas energéticas e desenvolvimento sustentável	96
7.2.1 Resíduos sólidos urbanos: indicador e importância socioambiental	96
7.2.1.1 Composição gravimétrica e influências sazonais dos resíduos sólidos de origem doméstica.....	97
7.2.1.2 Geração <i>per capita</i> e estratos socioeconômicos de resíduos sólidos de origem doméstica.....	98
7.3 Ressignificação ambiental	100
7.3.1 Resíduos sólidos orgânicos, digestão anaeróbia e biogás.....	101
7.3.2 Geração, qualidade e quantidade de biogás em aterro sanitário.....	106

7.3.3 Modelos empíricos para a previsão de biogás em aterros sanitários	108
7.4 Estado da arte “energia sustentável e limpa”: biomassas de resíduos sólidos de aterro sanitário.....	110

8 CONCLUSÕES	115
--------------------	-----

REFERÊNCIAS.....	117
------------------	-----

ANEXO A - E-mail de aceite e estrato superior Qualis/Capes do artigo publicado na Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais (RICA) – ISSN 2179-6858. O periódico possui estrato superior em Ciências Ambientais, na classificação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).....126

ANEXO B - E-mail de aceite e estrato superior Qualis/Capes do artigo publicado na Revista em Agronegócio e Meio Ambiente (RAMA) - ISSN 1981-9951. O periódico possui estrato superior em Ciências Ambientais, na classificação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).....127

ANEXO C - E-mail de aceite e estrato superior Qualis/Capes do artigo publicado na Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais (RICA) – ISSN 2179-6858. O periódico possui estrato superior em Ciências Ambientais, na classificação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).....129

ANEXO D - E-mail de aceite e estrato superior Qualis/Capes do artigo publicado na Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais (RICA) – ISSN 2179-6858. O periódico possui estrato superior em Ciências Ambientais, na classificação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).....131

ANEXO E - E-mail de envio e estrato superior Qualis/Capes do artigo submetido para avaliação na Revista Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science - ISSN - 2238-8869. O periódico possui estrato superior em Ciências Ambientais, na classificação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)133

1 APRESENTAÇÃO

1.1 Introdução

A sustentabilidade é enfatizada pela Organização das Nações Unidas (ONU) como foco em seus objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), Ratificada em 2015 por 193 países, distribuída por 17 objetivos, compostos por 169 metas que devem ser cumpridas até o ano de 2030.

Concernente ao ODS 7, “Energia limpa e acessível”, inclui a necessidade de se implantar modernos serviços de energia, objetivando o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos.

Esta tese discorre sobre a recuperação de energia da biomassa dos resíduos sólidos do aterro sanitário da cidade de Maceió, capital do Estado de Alagoas, com a intenção de avaliar e analisar a emissão de biogás na superfície do aterro, com o objetivo de investigar os resíduos sólidos de origem doméstica *in loco* e em laboratório.

A economia de Maceió é voltada principalmente para o turismo, em função da beleza de suas praias (sol e mar), além, da gastronomia e da cultura. O município conta com 50 bairros, com diferentes estratos socioeconômicos, isto é, diferentes níveis de renda e, conseqüentemente, de consumo e de geração de resíduos.

A produção e o consumo sempre crescentes causam uma das maiores preocupações do mundo moderno: a grande geração de resíduos.

Consequentemente, os resíduos podem causar diversos impactos ambientais na água, no solo, no ar, etc., além de problemas sanitários em diferentes esferas mundiais.

O aumento do número de habitantes no planeta, associado à (re) configuração das populações nas cidades vêm agravando a capacidade natural da Terra de absorver os resíduos gerados. Em qualquer nível de geração *per capita* de resíduos, o aumento populacional significa maior formação de resíduos. Consequentemente, sua coleta e sua disposição tornam-se problemas mundiais, que podem agravar-se em países onde esses serviços não atingem toda a população, como é o caso do Brasil.

Em grande parte do território nacional, a administração pública visa exclusivamente à coleta e o descarte dos resíduos sólidos urbanos; consequentemente, essa é a maior demanda fiscalizada por órgãos sanitários e ambientais. Uma vez definida a forma de recolhimento e o local de destino dos resíduos, o problema da administração municipal está aparentemente resolvido, pois parte da receita municipal é destinada a contemplar estas etapas do gerenciamento. Assim, apenas uma pequena parte desses resíduos é tratada.

Na maioria dos municípios, entre outras deficiências, não há programas de coleta seletiva, tratamento de resíduos (saúde, químicos, radioativos, etc.), locais apropriados para a disposição adequada dos dejetos, além de não haver fiscalização. Dessa forma, subentende-se que o poder público demonstra pouca preocupação com a diminuição da geração dos resíduos sólidos urbanos e/ou com a prevenção e o controle da poluição ambiental. Além disso, poucos municípios dispõem de informações sobre resíduos sólidos; outros não dão importância. A maioria deles não as compartilha entre os governos e a população, que, tampouco, cobra a realização desses serviços.

Existem normas e leis relacionadas aos resíduos sólidos e ao seu gerenciamento, que podem nortear os gestores públicos; entretanto, algumas delas necessitam de legislação específica em alguns setores. A Política Nacional de Saneamento Básico (Lei 11.445, de 05 de janeiro de 2007) propõe uma visão integrada dos sistemas públicos de abastecimento de água e de esgotamento

sanitário, águas pluviais e resíduos sólidos.

Em 02 de agosto de 2010, foi instituída a Política Nacional de Resíduos (PNRS), por meio da Lei 12.305. Pretende-se, com a nova legislação, uma maior integração entre os governos federal, estadual e municipal, bem como entre os diversos setores da sociedade, em busca da minimização de efeitos negativos e da preservação ambiental.

A preservação ambiental aborda a proteção da natureza, independentemente de seu valor econômico e/ou utilitário. Nesse contexto, o homem é apontado como o causador da quebra do “equilíbrio” natural. Segundo Cavalcante e Franco (2007), os riscos ambientais antropogênicos indicam um aspecto da complexa interação das pessoas com o meio ambiente. Esses riscos estão diretamente associados às reações que envolvem o conhecimento dos indivíduos e as suas experiências e vinculações com seu espaço de vida. Por isso, os trabalhadores de lugares insalubres têm, possivelmente, baixa percepção dos riscos ambientais, ficando expostos a vários tipos de doenças. Toda a atividade humana envolve uma série de riscos diretamente proporcionais ao tipo de atividade que se realiza. As atividades exercidas cotidianamente pelo homem são baseadas na probabilidade de ocorrerem, ou não, eventos danosos.

Os diversos problemas gerados pelos resíduos sólidos urbanos (RSU) trazem implicações ambientais, além da degradação de alguns recursos naturais, conduzindo-nos à busca de soluções ambientais e sociais. Decisões sobre o detalhamento da qualidade e da quantidade dos resíduos que são produzidos diariamente podem, portanto, ser o primeiro passo a ser dado. Essa decisão consiste na caracterização dos locais e dos tipos de resíduos que são produzidos nas diversas áreas de uma determinada cidade. A caracterização dos resíduos urbanos viabiliza o estudo do comportamento físico dos elementos que os compõem, possibilitando, dessa forma, a melhor compreensão da massa como um todo. Corroborando essa assertiva, Ferreira *et al.* (2019) argumentam que um dos métodos determinantes para a implantação de aterros sanitários, que deve advir da elaboração de um plano de gestão e de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, é a caracterização desses resíduos. Esse entendimento pode subsidiar os tipos de equipamentos de coleta e a forma de tratamento compatível com a situação local, o

que é decisivo na forma como os resíduos serão reutilizados, reciclados, tratados e dispostos, sempre pensando atingir o sétimo objetivo da nova agenda de desenvolvimento sustentável.

O aterro sanitário é uma das principais formas de disposição de resíduos no mundo. Os resíduos depositados nesses ambientes entram em decomposição e geram gases que podem afetar diretamente os ecossistemas. A emissão descontrolada desses gases é um sério problema de poluição atmosférica; por isso, precisa ser refreado. Esses gases podem gerar vários efeitos perceptíveis, como odores e doenças cancerígenas na comunidade que reside no entorno do aterro. Consequentemente, o principal efeito da poluição atmosférica global é o aquecimento do globo terrestre, que vem gerando amplas discussões e, embora não seja de consenso científico, tem causado preocupação nos últimos anos. Desses gases, o metano (CH_4) é o que mais contribui para o aquecimento do planeta, seguido pelo dióxido de carbono (CO_2).

Para diminuir esses efeitos, os aterros sanitários devem estar fundamentados em critérios de engenharia. Além de toda infraestrutura, a camada de cobertura final é fundamental para impedir a passagem de gases para a atmosfera. Se as camadas forem mal redimensionadas, elas podem gerar a migração de gases e causar problemas ambientais. Por outro lado, havendo a captura dos gases, diminuem os que causam o efeito estufa na atmosfera, como, por exemplo, o metano; além disso, podem gerar energia de forma sustentável, com impactos econômicos e ambientais positivos.

1.1.1 Tema

Sustentabilidade do potencial da biomassa dos resíduos sólidos de origem doméstica do aterro sanitário de Maceió para a geração de biogás, aliada à possibilidade de geração de energia renovável, promovendo o acesso à energia enquanto direito humano.

1.1.2 Delimitação do tema

Sustentabilidade da biomassa dos resíduos sólidos do aterro sanitário de Maceió, no Estado de Alagoas, Brasil.

1.1.3 Problema

A agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável dispõe que estamos determinados a proteger o planeta da degradação, sobretudo, por meio do consumo e produção sustentáveis, da gestão sustentável dos seus recursos naturais, tomando medidas urgentes em relação às mudanças climáticas para que o planeta possa suportar as necessidades das gerações presentes e futuras, num mundo onde os *habitats* humanos sejam seguros, resilientes e sustentáveis, com acesso universal a energia acessível, confiável e sustentável.

Diante do exposto, qual a sustentabilidade da biomassa dos resíduos sólidos no aterro sanitário de Maceió com potencial para a geração de biogás?

1.1.4 Hipótese

Acredita-se que a biomassa dos resíduos sólidos urbanos interfere na produção de biogás.

1.1.5 Objetivos

1.1.5.1 Objetivo geral

Analisar a sustentabilidade do potencial da biomassa dos resíduos sólidos de origem doméstica do aterro sanitário de Maceió/AL para a geração de biogás, com investigações *in loco* e laboratorial.

1.1.5.2 Objetivos específicos

- Analisar a composição gravimétrica sob influências sazonais, por regiões administrativas (RA) e a discretização da geração *per capita* e por estratos socioeconômicos dos resíduos sólidos de origem doméstica de Maceió/AL;
- Calcular a geração de biogás com resíduos sólidos orgânicos de origem doméstica de Maceió/AL, utilizando escala laboratorial;
- Calcular a geração quantitativa e qualitativa do biogás no aterro sanitário de Maceió;
- Calcular a taxa de geração de biogás no aterro sanitário de Maceió a partir de modelos empíricos.

1.1.6 Justificativa

Uma das grandes preocupações ambientais da atualidade está relacionada aos resíduos sólidos gerados pelas atividades humanas, pois eles têm proporcionado agravantes ambientais à nossa civilização. Nesse sentido, percebe-se que são essenciais medidas de gerenciamento desses detritos, uma vez que os resíduos sólidos orgânicos podem ser convertidos em energia limpa e sustentável.

Uma das principais características de um sistema de resíduos deve ser sua adequação à realidade local, com critérios técnicos, a fim de fomentar a capacidade dos recursos disponíveis. Silva *et al.* (2018) ressaltam que se trata de medidas de investimento público em infraestrutura de gerenciamento, cumprindo, dessa forma, a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

A caracterização dos resíduos pode sofrer variações de um lugar para outro, dependendo da situação econômica, social e cultural da área estudada. Há, também, uma questão relacionada à sazonalidade e ao clima da região em estudo. Dessa forma, os dados encontrados na literatura de uma determinada localidade não podem ser generalizados para qualquer região.

A caracterização dos resíduos auxilia na obtenção da fração de cada tipo de

detrito existente no local. O método de análise mais utilizado é o da composição gravimétrica, que é uma análise detalhada da tipologia dos resíduos por bairros, considerando materiais como vidro, plástico, papel, garrafas *pet*, metal, matéria orgânica, entre outros, resultantes da produção de lixo de uma determinada localidade. A fração orgânica de resíduos de origem doméstica ainda é a que mais representa no volume total de resíduos de uma determinada localidade, em vários lugares no mundo.

Os aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos (RSU), além de serem utilizados como destino de resíduos sólidos, podem ser caracterizados como fonte de geração de energia proveniente do biogás. Nessa perspectiva, é de fundamental importância o estudo da geração e da emissão de biogás em aterros sanitário de RSU, uma vez que o sistema de decomposição da matéria orgânica produz o biogás.

Com esta pesquisa, espera-se contribuir com o estudo da geração de biogás, considerando a análise gravimétrica dos resíduos e a geração de resíduos orgânicos de origem doméstica, de acordo com as diferentes regiões administrativas (RA), relacionando questões econômicas, sociais e culturais. Destaca-se, ainda, que os resultados desta pesquisa poderão ser utilizados tanto pelo município de Maceió, quanto por outros pesquisadores para que tomem conhecimento do estudo e possam tê-lo como referência para uma possível implantação de geração de biogás, com fins energéticos. Ademais, este estudo pode contribuir para uma discussão mais detalhada a respeito dos atores que participam do processo de políticas públicas e para futuras pesquisas acadêmicas na referida área de estudo.

1.2 Estrutura da tese

O formato desta tese baseia-se no formato alternativo de tese, previsto no regimento do programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento (PPGAD), Resolução nº167/Reitoria/Univates (2012), especificamente no inciso III, parágrafo único do artigo 30:

Art. 30. O trabalho de conclusão do PPGAD constitui-se em dissertação, para alunos do Mestrado, e em tese, para alunos do Doutorado, sendo de responsabilidade individual do aluno e resultado de projeto executado sob a

orientação do professor orientador, conforme define esse regimento. Parágrafo único. A forma da redação pode ser: [...] III - uma forma alternativa composta de: título; resumo e abstract; apresentação; dois artigos publicados ou aceitos para publicação, como primeiro autor, em revista *qualis* superior ou igual a B1 na área Ciências Ambientais da Capes, referentes à pesquisa desenvolvida durante a orientação do curso de Doutorado; discussão geral; conclusões e referência, para o doutorado (UNIVATES, 2012, p. 9).

Com base na normativa, a tese contempla o regimento interno, apresentando os componentes: (a) título; (b) resumo e *abstract*; (c) apresentação; (d) cinco artigos científicos referentes à pesquisa desenvolvida durante a orientação do curso de doutorado, como primeiro autor, em revistas com *qualis*/Capes, na área de ciências ambientais (ANEXOS, A, B, C, D e E); e) discussão geral; (f) conclusões; (g) referências.

O formato alternativo de elaboração de tese permite ao discente a apresentação do trabalho de conclusão de curso na forma de coletânea de artigos científicos (BURROUGH-BOENISCH, 2016; NASSI-CALÒ, 2016). Frank (2013) apresenta três opções de estrutura da tese: artigos horizontais, verticais e mistos:

- (1) Artigos horizontais – cada artigo aborda o mesmo problema de uma perspectiva diferente.
- (2) Artigos verticais ou sequenciais - a tese propõe estudar um determinado problema, sendo necessário obter resultados intermediários; cada artigo atende um dos objetivos específicos, que, por sua vez, atendem ao objetivo geral.
- (3) Estrutura mista – combina as abordagens horizontal e vertical.

Destarte, a presente tese está estruturada de acordo com a abordagem (2), artigos verticais ou sequenciais. A Figura 1 representa a estrutura dos artigos desenvolvidos durante o período da tese, que estão interligados aos objetivos específicos e esses, ao objetivo geral; a identificação dos periódicos e seus respectivos *qualis* (Avaliação da CAPES de Ciências Ambientais); o *status* da submissão dos manuscritos. Ressalta-se que, no decorrer da evolução da pesquisa, decidiu-se fragmentar os resultados do primeiro objetivo específico em dois artigos, para melhor representá-lo.

Quadro 1 - Estrutura da tese em artigos verticais

Objetivo geral				
Analisar a emissão de biogás na superfície do aterro sanitário de Maceió, considerando os resíduos sólidos de origem doméstica e sua caracterização, com investigações <i>in loco</i> e laboratorial.				
Objetivos específicos	Estrutura da tese	Artigos	Periódicos (ciências ambientais)	Status
Analisar a composição gravimétrica sob influências sazonais por regiões administrativas (RA) e a discretização da geração <i>per capita</i> e por estratos socioeconômicos dos resíduos sólidos de origem doméstica de Maceió/AL.	Artigo 1	Resíduos sólidos urbanos de Maceió-AL: análise da composição gravimétrica sob influências sazonais	Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais	Publicado
	Artigo 2	Discretização da estimativa de geração <i>per capita</i> e análise gravimétrica de resíduos sólidos urbanos	Revista em Agronegócio e Meio ambiente	Aceito
Calcular a geração de biogás com resíduos sólidos orgânicos de origem doméstica de Maceió/AL, utilizando escala laboratorial	Artigo 3	Resíduos sólidos orgânicos domésticos como substrato potencial para produção de biogás	Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais	Publicado
Calcular a geração quantitativa e qualitativa do biogás no aterro sanitário de Maceió	Artigo 4	Geração quantitativa e qualitativa da emissão de biogás no aterro sanitário de Maceió	Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais	Publicado
Calcular a taxa de geração de biogás no aterro sanitário de Maceió a partir de modelos empíricos	Artigo 5	Geração de biogás no aterro sanitário de Maceió a partir de modelos empíricos	Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science	Submetido

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

1.2.1 Capítulos estruturais da tese

A tese, estruturada em 8 capítulos que fundamentam o estudo doutoral, está assim delineada:

1º Capítulo: apresentação

O capítulo da apresentação está dividido em duas partes: (1) a introdução, que descreve a produção de resíduos e as técnicas de tratamento, o tema, o problema, os objetivos geral e específico e a justificativa da pesquisa; (2) estrutura e formato da tese em artigos verticais, apresentados nos capítulos dois, três, quatro e cinco.

2º Capítulo: primeiro artigo (SILVA *et al.*, 2020)

O capítulo dois apresenta os resultados obtidos no estudo desenvolvido para o primeiro artigo da tese (que atende a parte A do primeiro objetivo específico: analisar a composição gravimétrica sob influências sazonais por regiões administrativas (RA)). O estudo buscou averiguar as características dos resíduos gerados e destinados ao aterro municipal de Maceió/AL, quantificando-os e classificando-os como orgânicos, recicláveis e rejeitos, por regiões administrativas, além de avaliar características de variação do perfil dos resíduos, que podem estar associadas à sazonalidade. Os dados relativos aos resíduos foram obtidos por meio dos relatórios mensais referentes às pesagens dos resíduos na chegada dos caminhões na balança do aterro sanitário, ao longo de um ano, bem como, por meio da discretização da geração *per capita* e por estratos socioeconômicos dos resíduos sólidos de origem doméstica de Maceió/AL.

3º Capítulo: segundo artigo (SILVA *et al.*, 2020)

O capítulo três apresenta os resultados obtidos no estudo desenvolvido no segundo artigo da tese (que atende a parte B do primeiro objetivo específico: discretização da geração *per capita* e por estratos socioeconômicos dos resíduos sólidos de origem doméstica de Maceió/AL). O estudo buscou analisar a geração de resíduos sólidos domiciliares e sua relação com os estratos socioeconômicos, em Maceió, Alagoas. A análise foi realizada em dois períodos distintos, seco e chuvoso, nos itinerários e nas regiões administrativas de coleta de lixo em Maceió, relacionando-os aos estratos socioeconômicos.

4º Capítulo: terceiro artigo (SILVA *et al.*, 2020)

Os resultados obtidos para o terceiro artigo compõem o capítulo quatro da

tese, em que se avaliou o potencial bioquímico de biogás (PBB) e metano (PBM) dos resíduos sólidos orgânicos de origem doméstica (resíduos novos-RN), provenientes do aterro sanitário de Maceió, Alagoas. Os ensaios foram realizados no Centro de Pesquisa em Energia e Tecnologias Sustentáveis - CPETS/TECNOVATES - Univates/RS.

5º Capítulo: quarto artigo (SILVA *et al.*, 2020)

O capítulo cinco apresenta os resultados obtidos no estudo desenvolvido para o quarto artigo da tese, em que se buscou avaliar a vazão e a qualidade do biogás do aterro sanitário de Maceió-AL. A leitura da vazão do biogás no aterro sanitário foi realizada em 15 drenos verticais (poços) e a qualificação do biogás foi realizada por cromatografia gasosa.

6º Capítulo: quinto artigo (SILVA *et al.*, 2020)

O capítulo seis apresenta os resultados obtidos no estudo desenvolvido para o quinto artigo da tese, que objetivou estimar o potencial de geração de biogás no aterro sanitário de Maceió, estado de Alagoas, por meio do modelo cinético de primeira ordem, recomendado pela CETESB, comparando os dados empíricos de emissões não controladas, com dados de emissões controladas medidos em campo, buscando estimar a eficiência da coleta pelos drenos verticais de biogás do aterro, bem como estimar o potencial de geração de energia a partir do biogás do aterro.

7º Capítulo: discussão geral

O sétimo capítulo apresenta a discussão geral, que contempla os seguintes aspectos: 1) discussão integrada dos artigos (SILVA *et al.*, 2020a; SILVA *et al.*, 2020b; SILVA *et al.*, 2020c; SILVA *et al.*, 2020d; SILVA *et al.*, 2020e), a fim de demonstrar a interligação dos artigos com os objetivos da tese; 2) alternativas energéticas renováveis.

8º Capítulo: conclusões

Finalmente, o oitavo capítulo aborda as conclusões da tese. Foi destacado um esboço dos resultados dos cinco artigos e as considerações finais do autor sobre o tema central da pesquisa realizada.

2 ARTIGO 1

SILVA, C. O.; KONRAD, O.; CALLADO, N. H.; ARAUJO, L. G. S.; HASAN, C. Resíduos sólidos urbanos de Maceió-AL: análise da composição gravimétrica sob influências sazonais. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 11, n. 3, p.426-439, 2020a.

Artigo publicado na Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais (RICA) – ISSN 2179-6858. O periódico possui estrato superior em Ciências Ambientais, na classificação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).



Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais
Ibero-American Journal of Environmental Sciences

Abr a Mai 2020 - v.11 - n.3



RICA
ISSN: 2179-6858

This article is also available online at:
www.sustenere.co

Resíduos sólidos urbanos de Maceió/AL: análise da composição gravimétrica sob influências sazonais

A composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é um importante instrumento de gestão, que possibilita conhecer as quantidades das frações de cada resíduo gerado. Neste sentido, o presente estudo teve como objetivo estimar as características dos resíduos gerados e destinados ao aterro municipal de Maceió/AL, quantificando e classificando-os como orgânicos, recicláveis e rejeitos, por regiões administrativas, além de avaliar características de variação no perfil dos resíduos que podem estar associadas à sazonalidade. Os dados sobre os resíduos foram obtidos por meio dos relatórios mensais, referentes às pesagens dos resíduos na chegada dos caminhões na balança do aterro sanitário, ao longo de um ano. Análises da composição gravimétrica dos resíduos foram efetuadas a fim de identificá-los em relação à sua classificação nas classes de: orgânicos, recicláveis e rejeitos, em 8 regiões administrativas, a partir dos roteiros de coleta de resíduos. Com base nas avaliações efetuadas constatou-se que, em média, os resíduos orgânicos representam 67,45%, os materiais potencialmente recicláveis 20,32%, e os rejeitos representam 12,23% de todos os resíduos de Maceió. O estudo mostrou a média de massa percentual de materiais recicláveis de 18,06% e 22,58%, do total de resíduos coletados, nos meses de junho, julho, agosto e novembro, dezembro 2017 e janeiro 2018 respectivamente, comprovando as diferenças relacionadas à sazonalidade e aos eventos festivos. Considerando os resultados obtidos, há necessidade de investir em educação, conscientização ambiental, informação e promoção do bem estar social, considerando o descarte e a separação adequada de resíduos sólidos domiciliares.

Palavras-chave: Material orgânico; Recicláveis; Rejeitos; Percentuais.

Urban solid waste from Maceió/AL: analysis of gravimetric composition under seasonal influences

The gravimetric composition of solid urban waste (MSW) is an important management tool, which makes it possible to know the quantities of the fractions of each waste generated. In this sense, the present study aimed to estimate the characteristics of the waste generated and sent to the municipal landfill in Maceió/AL, quantifying and classifying them as organic, recyclable and waste, by administrative regions, in addition to evaluating characteristics of variation in the profile of the residues that may be associated with seasonality. The data on the residues were obtained through monthly reports, referring to the weighing of the residues at the arrival of the trucks on the scale of the landfill, over a year. Analyses of the gravimetric composition of the residues were carried out in order to identify them in relation to their classification in the classes of: organic, recyclable and tailings, in 8 administrative regions, based on the guidelines for the collection of residues. Based on the evaluations carried out, it was found that, on average, organic waste represents 67.45%, potentially recyclable materials 20.32%, and tailings represent 12.23% of all waste in Maceió. The study showed the average mass percentage of recyclable materials of 18.06% and 22.58%, of the total waste collected, in the months of June, July, August and November, December 2017 and January 2018 respectively, proving the related differences seasonality and festive events. Considering the results obtained, there is a need to invest in education, environmental awareness, information and promotion of social well-being, considering the disposal and proper separation of household solid waste.


Keywords: Organic material; Recyclable; Waste; Percentage.

Topic: Planejamento, Gestão e Políticas Públicas Ambientais


Received: 14/03/2020


Reviewed anonymously in the process of blind peer.


Approved: 21/04/2020

Claudionor de Oliveira Silva 
Universidade do Vale do Taquari, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7914499903341694>
<http://orcid.org/0000-0002-6566-0451>
claudionor.silva@universo.univates.br

Odorico Konrad 
Universidade do Vale do Taquari, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9946679953072196>
<http://orcid.org/0000-0002-6968-7969>
okonrad@univates.br

Nélia Henriques Callado 
Universidade Federal de Alagoas, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8042175776163111>
<http://orcid.org/0000-0002-2393-555X>
nelia.callado@yahoo.com.br

Liz Geise Santos de Araujo 
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4373479527873700>
<http://orcid.org/0000-0003-0196-7064>
lizaraujoeng@gmail.com

Camila Hasan 
Universidade do Vale do Taquari, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1967237941851023>
<http://orcid.org/0000-0002-0101-4039>
chasan@universo.univates.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2020.003.0033

Referencing this:

SILVA, C. O.; KONRAD, O.; CALLADO, N. H.; ARAUJO, L. G. S.; HASAN, C.. Resíduos sólidos urbanos de Maceió/AL: análise da composição gravimétrica sob influências sazonais. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.11, n.3, p.426-439, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.003.0033>



© 2020

*Companhia Brasileira de Produção Científica. All rights reserved.

Resíduos sólidos urbanos de Maceió/AL: análise da composição gravimétrica sob influências sazonais

SILVA, C. O.; KONRAD, O.; CALLADO, N. H.; ARAUJO, L. G. S.; HASAN, C.

INTRODUÇÃO

O crescimento urbano, o desenvolvimento econômico e as mudanças das formas e dos modelos de consumo da população incidem em incremento da quantidade de resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados que podem contribuir com vários problemas ambientais. Campos (2012) constatou que a geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil tem crescido mais do que a própria população e o Produto Interno Bruto (PIB) do país, em 2002 a média era de 0,75 Kg/hab. Dia, já em 2009 a média chegou a 0,96 Kg/hab. Dia. O mesmo autor revela que, em 2009, houve uma inflexão no crescimento do PIB enquanto a geração total de resíduos continuou aumentando. “Em relação à geração de RSU no Brasil, não existe uma perspectiva de diminuição no seu valor absoluto” (NASCIMENTO et al., 2015). Desses resíduos, “a matéria orgânica é um dos principais componentes dos resíduos sólidos” (DEUS et al., 2017).

Verifica-se, ainda, que grande parte dos resíduos gerados no país não têm coleta regulamentada nem destinação adequada. Embora a Abrelpe (2016) tenha observado avanço na cobertura de coleta nas regiões brasileiras, destacando que a região sudeste continua respondendo por aproximadamente 52,7% do total, apresentando o maior percentual de cobertura dos serviços de coleta do país.

Segundo informações da Abrelpe (2016), a população brasileira apresentou um crescimento de 0,8% entre 2015 e 2016, entretanto a geração per capita de RSU registrou queda de quase 3% no mesmo período. A geração total de resíduos chegou a 214.405 Ton/dia de RSU gerados no país. A destinação correta dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é um grande desafio da sociedade brasileira. Podemos destacar como marco legal a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, em que é reunido o conjunto de princípio, objetivos, diretrizes, instrumentos, metas e ações para a gestão integrada de resíduos

sólidos urbanos (BRASIL, 2010).

A composição e a quantidade de resíduos podem variar de uma localidade para outra em função dos níveis de renda e a sazonalidade, (OZCAN et al., 2016), dos níveis tecnológico, sanitários e cultural (FEAM, 2019). “O estudo gravimétrico é de extrema importância, para que o município consiga dimensionar e buscar soluções para os problemas relacionados aos resíduos sólidos, assim como, planejar ações que visem sua minimização” (FEAM, 2019), avaliação da gestão dos resíduos (BEZERRA et al., 2019).

Maceió apresentou uma produção diária de aproximadamente 1.141,11 toneladas de resíduos no período estudado (PERS, 2016), configurando-se como o único município do estado de Alagoas com geração de RSU acima de 1.000 toneladas diárias, o que sugere seu posicionamento como principal gerador de resíduos do estado. Contudo, observa-se que a coleta ainda necessita da aplicação de técnicas e tecnologias que atendam ao público de acordo com as suas especificidades, sejam urbanas, rurais, comerciais ou industriais, observando os critérios sociais, econômicos e ambientais.

As características dos resíduos sólidos podem ser reunidas em três grupos, de acordo com suas propriedades biológicas, químicas e físicas. Destes três grupos, o que mais influência no sistema de coleta e disposição final é o que contempla as características físicas, cujas propriedades se relacionam com o volume, a massa, teor de umidade e consequente classificação dos resíduos. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar as características dos resíduos gerados e destinados ao aterro municipal de Maceió/AL, quantificando e classificando-os como orgânicos, recicláveis e rejeitos, por regiões administrativas, além de avaliar características de variação no perfil dos resíduos que podem estar associadas à sazonalidade.

MATERIAIS E MÉTODOS

Análise da geração de resíduos sólidos

Na primeira etapa do estudo, com objetivo de analisar o quantitativo total de resíduos gerados e a produção *per capita*, foi identificada a quantidade de resíduos sólidos depositada no aterro sanitário de Maceió. Os dados sobre os resíduos foram obtidos por meio dos relatórios mensais, referentes às pesagens dos resíduos na chegada dos caminhões na balança do aterro sanitário, e dos relatórios da Superintendência de Limpeza Urbana de Maceió (SLUM), cujo período abrange os meses de janeiro a dezembro de 2017. Os dados de população para o cálculo da geração *per capita* foram obtidos por meio dos indicadores de população estimada (IBGE, 2017). Além disso, houve consulta de dados disponibilizados no Ministério das Cidades, por meio do Diagnóstico do Manejo dos Resíduos Sólidos Urbanos, edição de 2016.

A análise dos dados foi por meio do seu conteúdo (BARDIN, 2011) e dos documentos existentes, que, de acordo com Silva et al. (2009), são um “método de investigação da realidade social”, pois não “traz uma única concepção filosófica de pesquisa, [e] pode ser utilizada tanto nas abordagens de natureza positivistas como também naquelas de caráter compreensivo, com enfoque mais crítico”.

Realização dos ensaios de campo

Por meio da identificação da classe e da massa dos resíduos avaliados em cada amostra foi determinada a sua composição gravimétrica, empregando o método do quarteamento, aplicado também por Melo (2007), Tavares (2008), Konrad et al. (2010), Soares (2011), Resende et al. (2013), Gomes et al. (2016), Oliveira et al. (2017).

Peso específico aparente

A determinação do peso específico foi obtida por meio da amostra descarregada pelo caminhão coletor na sua chegada ao aterro sanitário (aproximadamente 1 tonelada), em um local previamente preparado (local limpo com lona de 2 m x 2 m estendida). Após, aproximadamente 400 kg de lixo ainda ensacados foram pesados em recipiente de volume conhecido (FIGURA 1). Cabe salientar que a quantidade de 400 kg foi também adotada por outros autores que realizaram ensaios semelhantes (TAVARES, 2008; SOARES, 2011). Em relação à determinação da densidade, todas as amostras analisadas foram retiradas de veículos compactadores, cujo grau de compactação foi amenizado no ato da descarga do conteúdo do veículo.

A densidade da amostra foi calculada pela relação entre a sua massa e o seu volume, de acordo com a equação 1.

$$\rho = \frac{M - M_r}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (1)$$

Onde:

P corresponde à densidade;

M é o símbolo utilizado para a massa de resíduos;

Mr é a correspondência para a massa do recipiente;

V representa o volume do recipiente.

Composição gravimétrica

Os ensaios para determinação da composição gravimétrica dos resíduos iniciaram com o rompimento dos sacos das amostras de 400 kg utilizadas na determinação da densidade. Após este procedimento, o conteúdo foi homogeneizado manualmente com auxílio de pá e enxada. Depois de homogeneizada, a amostra foi dividida em 4 partes iguais, sendo desprezadas duas quartas-partes, de preferência as opostas, restando duas parcelas de 100 kg, finalizando o primeiro quarteamento. Em seguida, as duas parcelas de 100 kg foram misturadas novamente, iniciando-se o segundo quarteamento.

Do mesmo modo, a amostra foi dividida em quatro partes, com 50 kg cada. Duas quartas-partes, *vis-à-vis*, foram novamente desprezadas, resultando em apenas duas parcelas de 50 kg cada. Finalmente, misturaram-se as parcelas restantes e sua soma deu origem à amostra trabalhada pelo método de determinação da composição física, a partir da segregação e pesagem dos principais componentes que constituíram os resíduos avaliados. A pesagem de cada grupo de componentes foi registrada em uma planilha para análise gravimétrica. Em seguida, o percentual de cada componente presente no resíduo foi determinado por meio da indicação de sua massa em relação à massa total da amostra, equação 2.

$$CG(\%) = \frac{M_c}{M_t} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

CG corresponde à composição gravimétrica, em porcentagem,

Mc é a massa do componente, em quilogramas,

Mt representa a massa total, também em quilogramas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise dos resíduos sólidos

Os resíduos destinados ao aterro sanitário municipal, de acordo com as planilhas de controle, são classificados como resíduos de Classe II A. Os resíduos de classe IIA, podem ter propriedades tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água (NBR 10004 - ABNT, 2004). O levantamento de dados, com base no quantitativo de resíduos registrados nas planilhas das pesagens dos caminhões em balança do aterro sanitário, está ilustrado na Figura 2.

Avaliando os dados, percebe-se que a quantidade de material (em kg) variou ao longo dos meses, aparentando-se mais estável nos meses de abril a junho, período também onde é possível constatar que a quantidade de resíduos gerada foi menor. Gomez et al. (2008), em trabalho semelhante em chihuahua, México, verificou diminuição de resíduos nos meses de março a agosto.

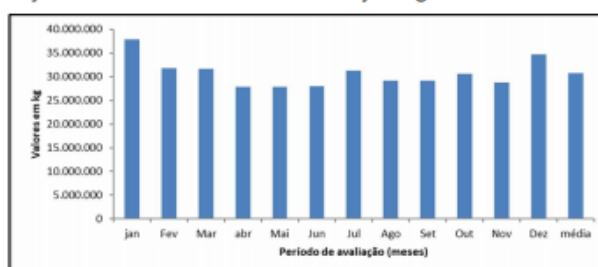


Figura 2: Quantidade de resíduos de Classe IIA em kg, de janeiro a dezembro de 2017.

Considerando o mês de janeiro, verificou-se, aumento de geração de resíduos, o que pode ser atribuído a determinados eventos, como as festas populares e as férias escolares, que ocorrem durante o mês de janeiro. O aumento da produção de resíduos no mês de dezembro pode ser devido ao aumento de pessoas no comércio, devido às compras de final de ano e período festivos. Outros fatores podem interferir nesses dados, conforme estudo realizado por Franco (2012), que sugere que as diferenças de estilo de vida e padrões de consumo da população são evidenciadas quando os resíduos sólidos urbanos são relacionados com os portes das cidades”.

Maceió tem uma população estimada de 1.021.129 e a geração *per capita* diária de resíduos (kg/habitante/dia) verificada foi de 0,98 kg/hab./dia, mantendo-se acima da média do Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos, do ano de 2016, que aponta a média nacional de 0,94 kg/hab./dia (BRASIL, 2018).

Cabe destacar que as regiões norte e nordeste apresentaram queda percentual na média de RSU. Na região norte, em 2015, a média *per capita* era de 1,13 e passou para 0,99 kg/hab./dia, decrescendo 12%. Já no Nordeste, no ano de 2016, a média era de 1,22 e caiu para 1,10 kg/hab./dia, decrescendo, dessa forma, 10%. Verifica-se, também, uma queda de aproximadamente 4% nas demais regiões brasileiras (BRASIL, 2018). Em outras regiões do país, foi possível identificar a geração *per capita* diária de resíduos sólidos

variando entre 0,46 e 0,64 kg/hab./dia (KONRAD et al., 2010; FRANCO, 2012; RESENDE et al., 2013). Constatase, assim, que, nesses estudos, a massa gerada ficou abaixo da média nacional.

Análise da composição gravimétrica

As tabelas 1 e 2, apresentam os resultados da composição gravimétrica nas 8 regiões administrativas, das análises realizadas em junho, julho, agosto e novembro, dezembro de 2017 e janeiro 2018.

Tabela 1: Composição gravimétrica nas RAs de Maceió em junho, julho e agosto de 2017.

Material	RA-01	RA-02	RA-03	RA-04	RA-05	RA-06	RA-07	RA-08	Média
Papel	6,00%	0,50%	3,00%	1,50%	2,00%	4,50%	4,00%	5,50%	3,38%
Papelão	4,00%	4,50%	4,10%	4,00%	1,50%	3,50%	8,00%	2,50%	4,01%
Madeira			1,10%		0,50%	4,70%	0,75%	5,00%	2,41%
Trapos	2,80%	13,80%	3,40%	2,70%	2,00%	4,10%	2,35%	2,60%	4,22%
Couros				0,30%	0,30%		0,20%	0,20%	0,24%
Borracha			3,50%	1,20%		0,30%	2,00%	0,30%	1,46%
Plástico Duro	2,00%	2,50%	2,90%	2,00%	0,50%	2,00%	3,50%	2,50%	2,24%
Plástico Mole	8,00%	2,90%	7,50%	11,00%	4,50%	8,00%	4,50%	1,35%	5,97%
Latas de alumínio						0,10%			0,10%
Metais Ferrosos	1,25%	0,60%	3,00%	0,30%	1,50%	0,40%	0,25%	0,60%	0,99%
Metais não ferrosos	0,20%	0,32%	0,50%	0,30%	1,50%	0,90%	0,30%	2,50%	0,82%
Vidro		0,63%	0,50%		2,00%	0,60%	0,20%	1,25%	0,86%
Terras e Similares	0,90%	0,80%			4,10%	0,30%	0,50%	0,50%	1,18%
Fraldas	3,00%	1,50%	14,50%	8,00%	6,10%	9,00%	1,00%	2,50%	5,70%
Papel Higiênico e absorvente	0,20%	0,20%	0,10%	0,30%	0,10%	0,70%	0,15%	0,40%	0,27%
Matéria Orgânica	71,65%	71,75%	55,90%	68,40%	73,40%	60,70%	72,30%	72,30%	68,30%
Total	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Tabela 2: Composição gravimétrica nas RAs de Maceió em novembro, dezembro de 2017 e janeiro 2018.

Material	RA-01	RA-02	RA-03	RA-04	RA-05	RA-06	RA-07	RA-08	Média
Papel	4,50%	3,80%	4,50%	5,30%	6,90%	0,50%	6,50%	5,50%	4,69%
Papelão	5,60%	3,90%	5,50%	7,80%	6,50%	4,50%	6,00%	3,50%	5,41%
Madeira	0,10%	2,00%		0,20%	0,25%	0,50%	0,60%		0,61%
Trapos	3,80%	4,10%	7,50%	4,10%	3,90%	10,80%	3,75%	2,30%	5,03%
Couros	0,20%	0,20%	0,10%	0,30%	0,20%	1,00%	0,25%	0,50%	0,34%
Borracha	0,30%	0,10%	0,30%	0,50%	0,25%	0,20%	1,00%	0,60%	0,41%
Plástico Duro	2,10%	4,05%	6,20%	4,20%	3,70%	4,50%	4,90%	3,00%	4,08%
Plástico Mole	3,30%	6,92%	7,70%	5,40%	5,80%	6,45%	5,90%	1,95%	5,43%
Latas de alumínio	0,25%	0,13%	0,10%	0,10%	0,20%			0,05%	0,14%
Metais Ferrosos	0,30%	0,80%	1,60%	1,40%	2,62%	1,25%	0,70%	2,00%	1,33%
Metais não ferrosos	0,25%	0,40%	0,20%	0,75%	0,80%	0,80%	1,20%	1,00%	0,68%
Vidro	1,25%	1,25%	1,00%	0,70%	1,08%	0,20%	0,75%	0,65%	0,86%
Terras e Similares		0,40%	0,25%		0,50%	0,30%	0,45%	0,95%	0,48%
Fraldas	4,55%	2,60%	4,50%	4,00%	2,40%	4,70%	3,05%	3,80%	3,70%
Papel Higiênico e absorvente	0,20%	0,20%	0,30%	0,85%	0,70%	0,45%	0,75%	0,75%	0,53%
Matéria Orgânica	68,70%	69,30%	60,50%	63,90%	64,40%	63,70%	63,70%	74,40%	66,08%
Total	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Características dos resíduos sólidos por sazonalidade

Resíduos orgânicos

Avaliando os dados das Tabelas 1, 2 e 3, com base na sazonalidade e na variabilidade dos resíduos encontrados na composição gravimétrica, constatou-se que a média de massa percentual de matéria

orgânica de origem doméstica foram as RAs 5, 8 e 7, com valores de 73,40%, 72,30% e 72,30%, respectivamente. Essa diferença pode ser explicada pela ocorrência de chuvas no período do estudo, o que torna os resíduos mais úmidos e pesados.

De acordo com os resultados obtidos, observa-se que a média de matéria orgânica presente nas amostras avaliadas nos meses de junho, julho, agosto e novembro, dezembro 2017 e janeiro 2018 foi de 67,45%. Em estudos realizado por Ramachandra et al. (2018), Al-Khatib et al. (2010) e Resende et al. (2013), foram encontradas as médias de matéria orgânica de 82,0% 65,1% e de 49,4% , respectivamente.

Destaca-se que o percentual elevado de matéria orgânica ocupa espaços significativos nos aterros sanitários, diminuindo a sua vida útil. Segundo Gomes et al. (2015), o encaminhamento da matéria orgânica para compostagem possibilita a redução das emissões gasosas e líquidas. Os descartes inadequados, mesmo em cidades que contam com programas de coleta seletiva, diminui a quantidade de materiais passíveis de aproveitamento. No caso dessa pesquisa, o maior índice é o de matéria orgânica e de materiais recicláveis, que ainda são desprezados em grande escala. A baixa participação da população na separação desses materiais contribui para o encarecimento da coleta e do seu destino final.

Tabela 3: Material orgânico das RAs de Maceió.

RAs	Jun, Jul, Ago	Nov, Dez, Jan	Média
RA 1	71,65%	72,90%	72,28%
RA 2	71,75%	69,30%	70,53%
RA 3	55,90%	60,50%	58,20%
RA 4	68,40%	63,90%	66,15%
RA 5	73,40%	64,40%	68,90%
RA 6	60,70%	63,70%	62,20%
RA 7	72,30%	63,70%	68,00%
RA 8	72,30%	74,40%	73,35%
	68,30%	66,60%	67,45%

Materiais recicláveis

Nos meses de junho, julho e agosto, foi possível identificar nas 8 RAs a média de 18,06% de massa percentual dos materiais potencialmente recicláveis. Em estudo semelhante, porém em outra região do país, foi possível identificar “na coleta regular materiais potencialmente recicláveis 28% (em massa) e do total dos resíduos” (KONRAD et al., 2010).

Os materiais que mais se destacaram foram o plástico mole (5,97%), o papelão (4,01%), o papel (3,38%) e plástico duro (2,24%). O valor elevado de plástico mole pode ser explicado pelo seu uso intenso em lojas, supermercados e lojas de conveniências. Os catadores revelaram que, devido ao seu preço baixo de mercado, sua coleta não se torna atraente para os catadores. Em estudo sobre a geração diária de resíduos, o plástico representou 9% da amostra, por isso percebe-se a necessidade de “existirem políticas estratégicas e participação comunitária para redução na fonte e melhor reciclagem de resíduos” (ADENIRAN et al., 2017).

O papelão, mesmo com destaque na composição de materiais recicláveis, obteve menor valor na análise feita em dezembro, ainda que observado o aumento da umidade desses materiais no mês de agosto, devido ao período de chuvas. Projetos, nesse caso, podem reduzir gastos dos municípios e aumentar a sua renda com o aproveitamento dos materiais recicláveis. O elevado percentual de papel na amostra pode ser explicado pelo retorno das atividades escolares após o período de recesso escolar. O plástico duro representou em junho, julho e agosto, 2,24% dos materiais potencialmente recicláveis, no período de novembro, dezembro 2017 e janeiro 2018, o valor foi de 4,08%. A redução do valor no período junho, julho e agosto, podem ser atribuídos pode ser atribuído às coletas feitas por catadores em pontos específicos para coleta de materiais ou nas lixeiras implantadas nas calçadas da cidade.

Os materiais que tiveram menores índices nas amostras foram a latas de alumínio (0,10%), metais não ferrosos (0,82%), vidro (0,86%) e metais ferrosos (0,99%). Constata-se, portanto, que o percentual de latas de alumínio é baixo, provavelmente em função do preço atraente de comercialização. Destaca-se,

ainda, que as latas de alumínio, mesmo somadas aos materiais não ferrosos, totalizaram menos que 1% (0,92%).

A presença de vidro e de materiais ferrosos não apresentaram índices elevados nas amostras. Uma possível causa é a sua substituição por embalagens plásticas, de papelão e/ou de metal. O vidro possui reciclagem desenvolvida e de fácil comercialização, o que torna seu ciclo de vida 100% reciclável. Destaca-se que 4,86% das embalagens de vários produtos têm sido substituídas por embalagens celulósicas (35,05%), plásticas (37,47%) e/ou de metal (16,03%) (LANDIM et al., 2016).

Com isto, verifica-se a necessidade de consolidação de iniciativas que viabilizem o uso do vidro na cadeia produtiva, incentivando o processo de reuso, de reciclagem, de logística reversa e de aproveitamento adequado dos materiais descartados. Nos meses de novembro, dezembro de 2017 e janeiro 2018 foi possível identificar nas 8 regiões administrativas a média de 22,58% de massa percentual dos materiais potencialmente recicláveis. Em estudo semelhante foi possível identificar a geração de materiais potencialmente recicláveis em variações entre 25% e 31,8% do total dos resíduos (RESENDE et al., 2013; GOMES et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2017).

Os materiais que mais se destacaram foram o plástico mole (5,43%), o papelão (5,41%), o papel (4,69%) e o plástico duro (4,08%). O plástico mole teve uma pequena redução em relação aos meses de junho, julho e agosto, contudo foi o material que mais se destacou dentre os recicláveis do mês de dezembro. A elevada quantidade de papelão pode ser explicada pelo período de aquecimento do comércio no final de ano. Quanto ao papel, as vendas de embalagens de presentes e o início do processo de compra de material escolar podem ter influenciado em sua média.

Quanto ao plástico duro, durante os meses de junho, julho e agosto, o motivo pode ter sido devido o aumento do uso de embalagens de produtos de limpeza e de refrigerantes em períodos festivos, como a época de final de ano. Os eventos sazonais podem, portanto, influenciar na composição dos resíduos e, entre outros fatores, o clima, que por sua vez, devem ser analisadas ao longo de um ano (GALLARDO et al., 2016).

Dentre os materiais que tiveram menor destaque no volume total das amostras, novamente verificou-se as latas de alumínio (material não ferroso), os metais não ferrosos, os vidros e os metais ferrosos, com percentuais de 0,14%, 0,68%, 0,86% e 1,33%, respectivamente. Os percentuais desses materiais encontrados nas análises realizadas são pouco representativos.

A lata de alumínio é um dos itens mais procurados da coleta seletiva, pelos catadores de materiais recicláveis. Eles são retirados dos caminhões de lixo, das lixeiras nas ruas e de eventos festivos, ainda que sua produção possa variar de acordo as estações do ano. Ramachandra et al. (2018), em seu trabalho sobre caracterização gravimétrica, identificou a geração de alumínio de 2% dentre os materiais potencialmente recicláveis. Salienta-se que esse elemento pode estar inserido em outros materiais, como painéis e seus cabos, entre outros (Tabela 4).

No presente estudo, de acordo com as amostras analisadas, a média de massa percentual de materiais recicláveis em Maceió foi de 18,06% do total de resíduos coletados em junho, julho e agosto e de 22,58% na coleta de dados do mês de novembro, dezembro 2017 e janeiro de 2018 comprovando as diferenças relacionadas à sazonalidade e aos eventos festivos. A média geral das duas campanhas foi de 20,32% do total da geração de resíduos. A este respeito, a literatura corrobora com o potencial de aproveitamento de materiais recicláveis, em percentuais que podem variar de 18% a 43,92% dos resíduos coletados em diversos estudos (TAVARES, 2008; KONRAD et al., 2010; GALLARDO et al., 2016; RAMACHANDRA et al., 2018).

Tabela 4: Materiais recicláveis.

Junho, Julho, Agosto									
Materiais	RA 1	RA 2	RA 3	RA 4	RA 5	RA 6	RA 7	RA 8	Média
Papel	6,00%	0,50%	3,00%	1,50%	2,00%	4,50%	4,00%	5,50%	3,38%
Papelão	4,00%	4,50%	4,10%	4,00%	1,50%	3,50%	8,00%	2,50%	4,01%
Plástico Duro	2,00%	2,50%	2,90%	2,00%	0,50%	2,00%	3,50%	2,50%	2,24%
Plástico Mole	8,00%	2,90%	7,50%	11,00%	4,50%	8,00%	4,50%	1,35%	5,97%
Latas de alumínio						0,10%			0,10%
Metais Ferrosos	1,25%	0,60%	3,00%	0,30%	1,50%	0,40%	0,25%	0,60%	0,99%
Metais não Ferrosos	0,20%	0,32%	0,50%	0,30%	1,50%	0,90%	0,30%	2,50%	0,82%
Vidro		0,63%	0,50%		2,00%	0,60%	0,20%	1,25%	0,86%
	21,45%	11,95%	21,50%	19,10%	13,50%	20,00%	20,75%	16,20%	18,06%
Novembro, Dezembro, Janeiro									
Papel	4,50%	3,80%	4,50%	5,30%	6,90%	0,50%	6,50%	5,50%	4,69%
Papelão	5,60%	3,90%	5,50%	7,80%	6,50%	4,50%	6,00%	3,50%	5,41%
Plástico Duro	2,10%	4,05%	6,20%	4,20%	3,70%	4,50%	4,90%	3,00%	4,08%
Plástico Mole	3,30%	6,92%	7,70%	5,40%	5,80%	6,45%	5,90%	1,95%	5,43%
Latas de alumínio	0,25%	0,13%	0,10%	0,10%	0,20%			0,05%	0,14%
Metais Ferrosos	0,30%	0,80%	1,60%	1,40%	2,62%	1,25%	0,70%	2,00%	1,33%
Metais não ferrosos	0,25%	0,40%	0,20%	0,75%	0,80%	0,80%	1,20%	1,00%	0,68%
Vidro	1,25%	1,25%	1,00%	0,70%	1,08%	0,20%	0,75%	0,65%	0,86%
	17,55%	21,25%	26,80%	25,65%	27,60%	18,20%	25,95%	17,65%	22,58%

— . . .

Rejeitos

Durante a coleta de dados dos meses de junho, julho e agosto foi possível identificar nas 8 regiões administrativas a média de massa percentual de rejeitos de 13,64%. Esse percentual é próximo do que a literatura apresenta em diversos trabalhos sobre variabilidade de potencial de aproveitamento de materiais recicláveis, com percentuais entre 18% e 43,92% dos resíduos coletados em diversos estudos (TAVARES, 2008; KONRAD et al., 2010; MOURA et al., 2018).

Percebeu-se pouca variabilidade nos períodos de amostragens, o que pode ser justificado pelas semelhanças de hábitos e costumes. Os materiais que mais se destacaram foram fraldas (5,70%), trapos (4,22%). As fraldas representam o maior valor médio percentual, pois têm um consumo crescente em todos os níveis socioeconômicos, persistindo no meio ambiente mesmo após seu uso e, consequentemente, ocasionando impactos ao meio ambiente. Corroborando com o estudo, Oliveira et al. (2017) sobre avaliação gravimétrica de resíduos sólidos, encontrou para este material o percentual de 11% (usando o termo tecidos) dos resíduos coletados. Observa-se que esse componente corresponde a roupas usadas, disposta no lixo, mesmo sendo artigos escassos para população menos favorecida. Com a crise econômica, é comum encontrar roupas com preços atraentes, como os casos de lojas que vendem ‘qualquer peça’ por R\$10,00, R\$12,00 e/ou R\$15,00; essas peças, após o uso, geralmente são descartadas sem que a doação, a reutilização ou a reciclagem sejam consideradas. Na reciclagem, os materiais poderiam ser transformados em fibra têxtil, que poderia ser usada como matéria-prima no processo produtivo.

Políticas públicas de informação, aliadas à conscientização ambiental da população sobre o descarte correto, seriam alternativas para a mudança de hábitos, tornando-os mais sustentáveis. No entanto, “esta situação sobrecarrega economicamente e operacionalmente o sistema de seletivo de coleta, além de enviar resíduos perigosos ao aterro sanitário” (MOURA et al., 2018).

Dentre os materiais que tiveram menores percentuais nas amostras coletadas estão a borracha (0,01%), as terras e similares, terra, brita, cimento, concreto, etc., (1,18%), o papel higiênico e o absorvente (0,27%) e os couros (0,24%). O baixo valor registrado no item terras e similar coincide com o período de diminuição das atividades do setor de construção civil popular. Constata-se, ainda, que a categoria de outros elementos obteve percentuais próximos de zero, o que demonstra que a sua presença no mês de agosto foi quase nula, devido às pessoas terem os hábitos de queimar alguns materiais, como é o caso do papel higiênico e do absorvente.

Durante os meses de novembro, dezembro 2017 e janeiro 2018 foi possível identificar nas 8 regiões administrativas a média de massa percentual de rejeitos de 10,82%. Os materiais que mais se destacaram foram os trapos e fraldas, com percentuais de 5,03% e de 3,70%, respectivamente. Percebe-se que o item trapos teve média superior no mês de agosto, com 4,22%, o que é inversamente proporcional à sazonalidade. É possível que a aquisição de roupas ocorra com maior intensidade nesse período, e que o excedente deste material seja descartado no ciclo seguinte, sendo depositado no lixo comum, mesmo que pudesse ser reaproveitado, reciclado, “distribuídos ou vendidos como itens de segunda mão” (GOMEZ et al., 2009). A geração de resíduos sólidos urbanos aumenta consideravelmente como consequência do consumo desenfreado. Além disso, a diversidade de materiais contida nos resíduos exige uma cobertura consistente dos sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos municipais (OJEDA-BENÍTZ et al., 2008).

Dentre os materiais que tiveram menores destaques nas amostras estão a madeira, o papel higiênico e o absorvente, a terra e seus similares, a borracha, o couro, com percentuais de 0,61%, 0,53%, 0,48%, 0,41% e 0,34%, respectivamente. O item madeira, no entanto, não é gerado apenas nos domicílios, mas também na construção civil e, mesmo em quantidades baixas, podem ser aproveitados para fins energéticos. O percentual de papel higiênico e de absorvente foi inferior a 8% (KONRAD et al., 2010; ADENIRAN et al., 2017). Observa-se, por fim, que a geração de resíduos está intimamente relacionada aos hábitos e costumes da população e à sazonalidade (Tabela 5).

Na classe de rejeitos, a média de massa referente à coleta nos meses de junho, julho e agosto foi de 13,64%, enquanto a de novembro, dezembro 2017 e janeiro 2018 foi de 10,82%, obtendo-se uma média geral de 12,23% nas duas campanhas. Muitos dos materiais presente na classe rejeitos poderiam ser encaminhados para reciclagem (KONRAD et al., 2010).

Os materiais potencialmente recicláveis representaram, em junho, julho e agosto, 18,06% do total da amostra. Em novembro, dezembro 2017 e janeiro 2018, o percentual foi de 22,58%, o que leva a média geral para o percentual de 20,32% dos resíduos sólidos gerados em Maceió. O aumento percebido no mês de dezembro está provavelmente relacionado ao período festivo de final de ano. A composição gravimétrica a partir das análises sazonais pode contribuir para a quantificação dos materiais com potencial reciclável.

As informações referentes à primeira análise realizada mostraram que em algumas regiões administrativas o percentual em massa de resíduos domésticos de origem orgânica foi predominante, expressando valores acima de 70,00%. Apenas as RAs 3, 4 e 6 tiveram valores inferiores. Na segunda análise, entretanto, os percentuais de matéria orgânica diminuíram em relação à primeira análise. Apenas a RA-8, teve um percentual de 74,40%. Observou-se, contudo, que todas as RAs apresentaram percentuais acima de 60,00%.

Nos dois processos de coleta de dados, os maiores percentuais encontrados são de matéria orgânica (67,45%), que é um valor mais alto do que o encontrado em trabalhos semelhantes: para Gomes et al. (2009), o percentual foi de 45%; já para Konrad et al. (2010), o percentual foi de 46%; por fim, para Gomes et al. (2008), o valor foi de 48%.

Em seguida, os materiais potencialmente recicláveis expressaram o percentual de 20,32% da massa percentual do total dos resíduos sólidos das duas amostras, diferentemente de outros trabalhos da área, que apresentaram percentuais de 18%, 28% e 43,92% (GOMEZ et al., 2008; RAMACHANDRA et al., 2018; GALLARDO, 2016).

O total de rejeitos foi de 12,23% do total das amostras, enquanto outros estudos sugerem percentuais de 6% e de 30,5% (KONRAD et al., 2010; MOURA et al., 2018). Estilo de vida, padrões de consumo e atividades econômicas são alguns dos fatores que estão entrelaçados à produção e às quantidades de resíduos gerados em diferentes regiões geográficas mundiais.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados, foi possível observar na composição gravimétrica dos resíduos sólidos de origem doméstica nas regiões administrativas de Maceió que, o maior percentual foi de material orgânico (67,45%). Ressalta-se que, além da possibilidade de geração de energia, o aproveitamento destes resíduos em processos de compostagem ou digestão anaeróbia podem reduzir significativamente a quantidade de lixo aterrado, aumentando a vida útil do aterro sanitário. Os compostos orgânicos resultantes destes processos podem ainda ser utilizados em jardins, praças, canteiros, além de poder oferecer ganhos com a comercialização dos produtos resultantes. Ao incorporar o processo de compostagem e/ou tratamento biológico anaeróbio (geração de biogás), gerenciamento de resíduos sólidos, possibilitam-se ganhos sociais, econômicos e ambientais.

Percebeu-se que, nas avaliações realizadas no aterro sanitário nos dois períodos de análises, a média percentual de material potencialmente reciclável foi de 20,32%. Ressalta-se, portanto, que a coleta seletiva e a triagem dos resíduos podem ser ferramentas eficazes no reaproveitamento de resíduos recicláveis e consequente redução da quantidade de lixo aterrado.

A classe de rejeitos apresentou média percentual de 12,23% na composição dos resíduos. O incentivo à reutilização de alguns desses materiais, como roupas e madeiras, poderiam ser alvo de ações educativas, com o intuito de despertar hábitos de consumo mais conscientes, reduzindo também, a destinação de resíduos para o do município de Maceió.

Por fim, ressalta-se a necessidade de investir em educação, conscientização ambiental, informação e promoção do bem-estar social, considerando o descarte e a separação adequada de resíduos sólidos domiciliares. Espera-se que, dessa forma, o presente trabalho possa contribuir com gestores públicos e pesquisadores da área na busca por alternativas e melhorias ambientais.

AGRADECIMENTO: à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10.004: Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: ABRELPE, 2016.

ADENIRAN, A. E.; NUBI, A. T.; ADELEPO, A. O.. Solid waste generation and characterization in the University of Lago for a sustainable waste management. **Waste Management**, v.67, p.3-10, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.0022>

AI-KHATIB, I. A.; MONOU, M.; ZAHARA, A. S. F. A.; SHAHEEN, H. Q.; KASSINOS, D.. Solid waste characterization, quantification and management practices in developing countries. A case study: Nablus district: Palestine. **Journal of**

Environmental Management, v.91, p.1131-1138, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.01.003>

BARDIN, L.. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.

BEZERRA, C. R.; CAMPOS, K. F. S.. Avaliação da gestão e composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares do município de Manaira/PB. **InterEspaço**, v.5, n.16 p.1-23, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.2019.10610>

BRASIL. **Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília: DOU, 2010.

Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais
v.11 - n.3 • Abr a Mai 2020

Page | 438

Resíduos sólidos urbanos de Maceió/AL: análise da composição gravimétrica sob influências sazonais

SILVA, C. O.; KONRAD, O.; CALLADO, N. H.; ARAUJO, L. G. S.; HASAN, C.

BRASIL. **Lei n. 9.605**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas de atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília: DOU, 1998.

CAMPOS, H. K. T.. Renda e Evolução da Geração per capita de Resíduos Sólidos no Brasil. **Eng. Sanit. Ambient.**, v.17, n.2, p.171-180, 2012.

DEUS, R. M.; BATTISTELLE, R. A. G.; SILVA, G. H. R.. Current and Future Environmental Impact of Household Solid Waste Management Scenarios for a Region of Brazil: carbon dioxide and energy analysis. **Journal of Cleaner Production**, v.155, p.218-228, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.158>

FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Cartilha de orientações: estudo gravimétrico de resíduos sólidos urbanos**. Belo Horizonte, 2019.

FRANCO C. S.. **Caracterização Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Domiciliares Percepção dos Hábitos no Sul de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

GALLARDO, A.; EDO-ALCÓN, N.; CARLOS, M.; RENAÚ, M.. The determination of waste generation and composition as an essential tool to improve the waste management plan of a university. **Waste Management**, v.53, p.3-11, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.04.013>

MELO, E. N. C.. **Levantamento Setorial da Produção Per Capita de Resíduos Sólidos Domésticos em Maceió/AL e Quantificação do Material Reciclável Retirado do Vazadouro de Lixo da Cidade**. Dissertação (Mestrado em Gestão e Auditoria Ambiental) - Universidad de León, León, 2007.

MOURA, J. M. B. M.; PINHEIRO, I. G.; CARMO, J. L.. Gravimetric Composition of the Rejects Coming from the Segregation Process of the Municipal Recyclable Wastes. **Waste Management**, v.74, p.98-109, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.011>

NASCIMENTO, V. F.; SOBRAL, A. C.; ANDRADE, P. R.; OMETTO, J. P. H. B.. Evolução e desafios no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. **Rev. Ambient. Água**, v.10, n.4, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1635>

OJEDA-BENÍZ, S.; VEJA, C. A.; MARQUEZ-MONTENEGRO, M. I.. Household solid waste characterization by family socioeconomic profile as unit of analysis. **Recursos, Conservação e Reciclagem**, v.52, p.992-999, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.03.004>

OLIVEIRA, B. O. S.; OLIVEIRA, L. F.; MOURA, D. B.. Avaliação da composição gravimétrica dos resíduos sólidos gerados no conjunto Uruapiara do Município de Humaitá-AM. **Scientia Amazônia**, v.6, n2, p.58-62, 2017.

GIL, A. C.. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6 ed. Atlas Novo: São Paulo, 2008.

GOMES, L. P.; KOHI, C. A.; SOUZA, C. L. L.; REMPEL, N.; MIRANDA, L. A. S.; MORAES, C. A. M.. Avaliação ambiental de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos precedidos ou não por unidades de compostagem. **Eng Sanit Ambient**, v.20, n.3, p.449-462, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000120751>

GOMEZ, G.; MENESES, M.; BALINAS, L.; CASTELLS, F.. Characterization of urban solid waste in Chihuahua, Mexico. **Waste Management**, v.28, p.2465-2471, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.10.023>

GOMEZ, G.; MENESES, M.; BALINAS, L.; CASTELLS, F.. Seasonal characterization of municipal solid waste (MSW) in the city of Chihuahua, México. **Waste Management**, v.29, p.2018-2024, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.02.006>

KONRAD, O.; CASARIL, C. E.; SCHMITZ, M.. Estudo dos Resíduos Sólidos Domésticos de Lajeado/RS pela Caracterização Gravimétrica. **Revista Destaques Acadêmicos**, v.4, n.2, 2010.

LANDIM, A. P. M.; BERNARDO, C. O.; MARTINS, I. B. A.; FRANCISCO, M. R.; SANTOS, M. B.; MELO, N. R.. Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros**, v.26, p.82-92, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/0104-1428.1897>

OZCAN, H. K.; GUVENC, S. Y.; GUVENC, L.; DEMIR, G.. Municipal Solid Waste Characterization according to Different Income Levels: A Case Study. **Sustainability**, v.8, n.10, p.1044, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3390/su8101044>

RAMACHANDRA, T. V.; BHARATHA, H. A.; KULKARNIA, G.; HAND, S. S.. Municipal solid waste: Generation, composition and GHG emissions in Bangalore, India. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.82, p.1122-1136, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.0855>

RESENDE, J. H.; CARBONI, M.; MURGEL, M. A. T.; CAPPES, A. L. A. P.; TEIXEIRA, H. L.; SIMÕES, G. T. C.; RUSSI, R. R.; LOURENÇO, B. L. R.; OLIVEIRA, C. A.. Composição gravimétrica e peso específico dos resíduos sólidos urbanos em Jaú (SP). **Eng. Sanit. Ambien.**, v.18 n, 1, p. 1-8, 2013.

SILVIA, L. R. C.; DAMACENO, A. D.; MARTINS, M. C. R.; SOBRAL, K. M.. Pesquisa Documental: Alternativa Investigativa na Formação do Docente. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 9. **Anais**. Curitiba: PUCPR, 2009.

SOARES, E. L. S. F.. **Estudo da Caracterização Gravimétrica e Poder Calorífico dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

TAVARES, J. C. L.. **Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos da Cidade de Maceió/AL**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustemere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

3 ARTIGO 2

SILVA, C. O.; KONRAD, O.; CALLADO, N. H.; ARAUJO, L. G. S.; FEITOSA, A. K. Discretização da estimativa de geração *per capita* e análise gravimétrica de resíduos sólidos urbanos. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v.00, p. 00-00, 2020b.

Artigo aceito para publicação na Revista em Agronegócio e Meio Ambiente (RAMA) - ISSN 2176-9168. O periódico possui estrato superior em Ciências Ambientais, na classificação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

DISCRETIZAÇÃO DA ESTIMATIVA DE GERAÇÃO *PER CAPITA* E ANÁLISE GRAVIMÉTRICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

RESUMO: Historicamente, tanto a estimativa de geração per capita, quanto a análise gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos tem sido feitas de forma global; porém, não retratam a realidade da diversidade nas diferentes regiões das cidades brasileiras, existindo uma lacuna a respeito de dados discretizados por regiões ou estratos sociais. Assim, essa pesquisa teve por objetivo analisar a geração de resíduos sólidos domiciliares e a relação com os estratos socioeconômicos, em Maceió, Alagoas. Foram realizadas 32 coletas de resíduos domiciliares, em 8 itinerários, nas 8 regiões administrativas (RA), em dois períodos distintos, seco e chuvoso, relacionando a geração de resíduos com o estrato socioeconômico dos bairros dos roteiros de coleta selecionados. A pesquisa evidenciou a predominância de resíduos orgânicos, que atingiram uma média percentual de 67,45%, seguidos de material com potencial reciclável, num percentual de 20,32%, e de rejeitos, com um percentual de 12,23%. De forma geral verificou-se que a fração orgânica foi maior em regiões que abrangem bairros com estratos socioeconômicos predominantemente C2 (renda familiar baixa). A geração per capita de resíduos apresentou uma média 0,59 kg/hab⁻¹.d⁻¹, com o maior valor, 0,87 kg/hab⁻¹. d⁻¹, observadas em regiões com estrato socioeconômico mais altos. Nota-se que o estudo da composição gravimétrica dos resíduos discretizados por região, e estratos socioeconômicos pode trazer uma nova compreensão, com dados mais precisos a partir dos roteiros de coleta, a respeito da geração de resíduos sólidos domésticos.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos sólidos domésticos; Regiões administrativas; Roteiros, Estrato socioeconômico.

DISCRETIZATION OF PER CAPITA GENERATION ESTIMATE AND GRAVIMETRIC ANALYSIS OF URBAN SOLID WASTE

ABSTRACT: Historically, both the estimation of per capita generation and the gravimetric analysis of urban solid waste has been carried out globally, which has not portray the reality of the diversity in the different regions of Brazilian cities, with a gap regarding data discretized by regions or social statements. Thus, this research aimed to analyze the generation of household solid waste and the relationship with socioeconomic strata, in Maceió, Alagoas. 32 household waste collections were carried out, in 8 itineraries, in the 8 administrative regions (RA), in two different periods, dry and rainy, relating the generation of waste to the socioeconomic strata of the neighborhoods of the selected collection routes. The research showed the predominance of organic waste, which reached an average percentage of 67.45%, followed by material with recyclable potential, in a percentage of 20.32%, and waste, with a percentage of 12.23%. Overall, it was found that the organic fraction was higher in regions that cover neighborhoods with predominantly lower socioeconomic strata. Per capita waste generation showed an average of $0.59 \text{ kg} / \text{hab}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, with the highest value, $0.87 \text{ kg} / \text{hab}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, observed in regions with higher socioeconomic

strata. It is noted that the study of the gravimetric composition of the waste discretized by region and socioeconomic strata may bring a new understanding with more accurate data from the collection routes regarding the generation of domestic solid waste.

KEYWORDS: Domestic solid waste; Administrative regions; Itineraries; Socioeconomic strata.

INTRODUÇÃO

Considerando que o planejamento é a etapa inicial do processo de gestão municipal dos resíduos sólidos urbanos e que a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305/2010 (PNRS, 2010) traz como prioridade a prevenção e a redução na geração de resíduos, torna-se imprescindíveis, práticas de consumo sustentáveis. Para tanto é necessário o conhecimento das características e da geração *per capita* de resíduos de cada localidade. Historicamente tanto a geração *per capita*, quanto a caracterização dos resíduos são feitas de forma global, mas isto não retrata a realidade das diferentes áreas das cidades brasileiras. Além disso, ainda não existe um estudo que demonstre uma avaliação concisa da evolução da geração per capita e da variação das características dos resíduos sólidos no Brasil.

Trabalhos como o de Dias *et al.* (2012) que avaliou a geração e caracterização dos resíduos das cidades de Belo Horizonte e Porto Alegre, baseado em dados informados pelas prestadoras de limpezas locais; assim como o trabalho de Hénaut-ethier, Martin; Housset (2017), que estudou a geração de resíduos e caracterização dos resíduos, da província de Quebec no Canadá, levaram em conta as questões sociais, econômicas e ambientais, mas de forma global, sem levar em conta, principalmente, os estratos socioeconômicos e sazonalidade. No entanto,

para gestão de resíduos sólidos é mais importante que estes estudos sejam feitos levando em conta as peculiaridades locais, tais como por áreas (comerciais, industriais, domiciliares, etc), ou por estratos sociais, ou ainda levando em conta as épocas secas e chuvosas, pois esses fatores influenciam tanto na sua logística de coleta quanto de transporte.

Assim sendo, Konrad *et al.* (2015) comentam a necessidade de estudos de caracterização e geração *per capita*, e Soares (2011), ressalta a importância de que estes estudos estejam associados às suas respectivas classes sociais. Segundo Khan; Kumar; Samadder (2016), as questões socioeconômicas oferecem novas ideias a respeito do papel de vários parâmetros na geração de resíduos orgânicos. Costa *et al.* (2012), estudaram a composição gravimétrica através de rotas, previamente definidas e Resende *et al.* (2013), em estudo sobre quantificação de resíduos sólidos, sugerem que os caminhões de cada rota de coleta distinta devem ser pesados vazios e cheios, somando-se o peso líquido e dividindo-o pelo número de habitantes do bairro, obtendo-se assim a geração *per capita* diária. Infere-se, assim, que as diferenças socioeconômicas, bem como, as questões culturais da população interferem na geração *per capita*, na composição gravimétrica e na quantidade de resíduos.

Nesse sentido, Melo e Callado (2009) comentam que estudos a este respeito devem ser feitos não de maneira global, mas discretizados regiões distintas, tais como, por bairros ou por regiões administrativas, para que se possa realizar um planejamento de limpeza urbana condizente com a realidade de cada localidade e que seja feita, também, a densidade de geração de resíduos para que se possa identificar os centros de massa de coleta de resíduos, auxiliando no planejamento de coleta e de investimento de ações que possam contribuir com a diminuição da geração de resíduos.

Quanto às características dos resíduos, pesquisas de Tavares *et al.* (2010) mostram que cerca de 24% do lixo urbano gerado é material potencialmente reciclável, mas que a matéria orgânica ainda é o principal constituinte dos resíduos sólidos, com cerca de 60%. Mas, estes percentuais podem variar de região para região, e ao longo do tempo, devido ao crescimento da população e da modificação dos hábitos de consumo (KONRAD *et al.*, 2014; SAHIMAA *et al.*, 2015). A capital do estado de Alagoas, Maceió, teve o primeiro trabalho de caracterização de resíduos sólidos realizado por Pinheiro (1993), seguido pelos trabalhos de Galvão (1994), Jucá (2002) e Cunha (2005). Porém, esses autores estudaram a caracterização média dos resíduos sólidos da cidade a partir de amostras coletadas em diferentes bairros, não seguindo roteiros de coleta. Depois, Melo (2007) e Tavares (2008) estudaram a variação da produção *per capita* e a caracterização de resíduos, respectivamente, em função da sazonalidade, eventos festivos e condições socioeconômicas de cada bairro. No entanto, todos esses estudos foram feitos a

partir de amostragem dos resíduos que chegavam ao antigo lixão, que recebia praticamente todo tipo de resíduos, misturados inclusive com frações de resíduos de construção civil. A partir de 2010, com a implantação da Central de Tratamento de Resíduos (CTR) a área do aterro sanitário passou a receber apenas resíduos classificados em Classe II (não-perigosos), os resíduos de podas são destinados a área de compostagem e os resíduos de construção civil à unidade de beneficiamento ou células de entulho, diferente do que acontecia no antigo lixão. Assim torna-se necessário o acompanhamento da evolução dos valores de geração *per capita* e das características físicas dos resíduos que chegam a área do aterro sanitário, tanto de forma global, quanto discretizada por bairro ou região administrativa.

Além das características qualitativas e de geração *per capita* variarem em função das condições culturais e socioeconômicas, a dinâmica de crescimento populacional e o status consumidor também impõem uma mudança destas características ao longo do tempo. Assim, mesmo havendo dificuldades de coletas de amostras setorizadas, as rotas dos caminhões de coleta, pode ser uma alternativa de inovação para estimar a geração individualizada dos resíduos por região e, ainda, envolver a estratificação social, podendo resultar em dados mais concretos. Diante desse contexto, esta pesquisa teve por objetivo analisar a geração de resíduos sólidos domiciliares, discretizados por região administrativa da cidade de Maceió/AL, e sua relação com os estratos socioeconômicos locais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE TRABALHO

A área de trabalho foi a região urbana da cidade de Maceió/AL, a qual possui uma população estimada de 1.021.129 (IBGE, 2017) distribuídas em 50 bairros que compõem as 8 regiões administrativas (RA) da cidade, conforme apresentado na figura 1.

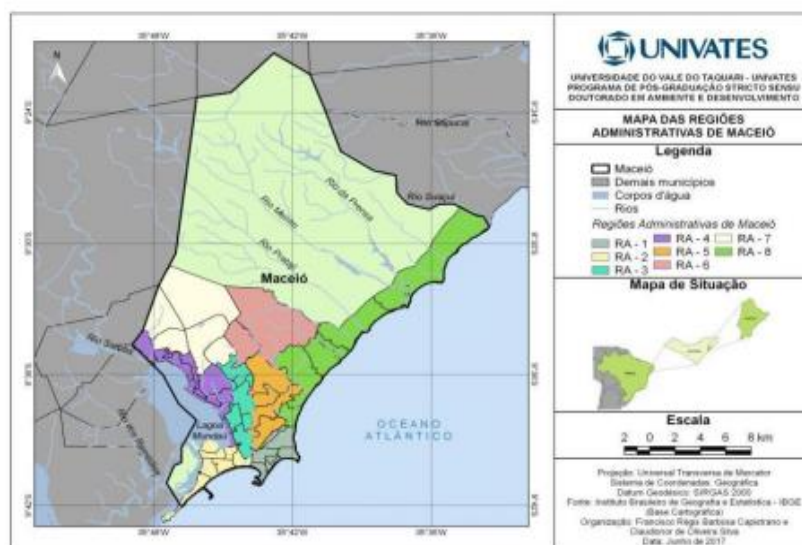


Figura 1- Mapa de localização geográfica das regiões administrativas de Maceió.

Fonte: Adaptado do Mapa das regiões administrativas da Prefeitura Municipal de Maceió (2005).

2.2 ESTRATIFICAÇÃO SOCIAL

Como critério de condições socioeconômicas, foi adotada a classificação em função da renda familiar publicada pela ABEP - Associação Brasileira de Empresas de Pesquisas (2015), os estratos socioeconômicos e renda familiar (R\$), A; B1; B2, C1; C2; D-E; 20.272,56; 8.695,88; 4.427,36; 2.409,01; 1.446,24; 639,78; respectivamente.

Em seguida, foi realizada a identificação da renda média domiciliar dos 50 bairros, através das informações da Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) do IBGE, com valores provenientes da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), realizada pelo mesmo Instituto em 2013. Também foi feito o levantamento da população de cada bairro, a partir dos dados censitários do IBGE (2010). Os dados foram ordenados por bairro e região administrativa, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. População e estrato socioeconômico dos bairros de Maceió

Bairro	RA	População (2010)	Renda média domiciliar mensal, R\$ (2010)	Estrato socioeconômico
Poço	1	20.776	2.822,29	B2
Jaraguá	1	3.211	2.063,68	C1
Ponta da Terra	1	8.403	2.304,30	C1
Pajuçara	1	3.711	5.518,62	B1
Ponta Verde	1	24.402	9.026,87	A
Jatiúca	1	38.027	5.250,64	B1
Mangabeiras	1	4.166	4.315,64	B2
Centro	2	2.812	3.366,79	B2
Pontal da Barra	2	2.478	1.623,42	C1
Trapiche da Barra	2	25.303	1.353,52	C2
Prado	2	17.763	2.185,67	C1
Levada	2	10.882	1.218,54	C2
Vergel do Lago	2	31.538	985,64	C2
Ponta Grossa	2	21.796	1.728,79	C1

Farol	3	16.059	4.036,67	D2
Pitanguiha	3	4.789	2.584,12	B2
Gruta de Lourdes	3	14.283	5.444,73	B1
Canaã	3	5.025	1.053,27	C2
Santo Amaro	3	1.927	1.232,10	C2
Jardim Petrópolis	3	5.081	10.645,88	A
Ouro preto	3	6.224	1.538,57	C1
Bom Parto	4	12.841	1.110,64	C2
Mutange	4	2.632	1.041,89	C2
Bebedouro	4	10.103	1.477,80	C1
Chã de Bebedouro	4	10.541	870,68	C2
Petrópolis	4	23.675	1.503,83	C1
Chã da Jaqueira	4	16.617	898,77	C2
Santa Amélia	4	10.649	2.744,48	B2
Fernão Velho	4	5.752	1.048,18	C2
Rio Novo	4	7.310	867,92	C2
Jacintinho	5	86.514	1.088,85	C2
Barro Duro	5	14.431	2.609,52	B2
Serraria	5	22.675	3.323,89	B2
São Jorge	5	8.445	1.534,57	C1
Feitosa	5	30.336	2.115,03	C1
Benedito Bentes	6	88.084	989,07	C2
Antares	6	17.165	2.571,24	B2
Santos Dumont	7	20.471	1.283,85	C2
Cidade Universitária	7	71.441	1.348,56	C2
Santa Lucia	7	26.061	1.295,98	C2
Tabuleiro do Martins	7	64.755	1.441,90	C2
Clima Bom	7	55.952	1.100,56	C2
Cruz das Almas	8	11.708	2.810,45	B2
Jacarecica	8	5.742	2.426,43	B2
Guaxuma	8	2.481	2.129,99	C1
Garça Torta	8	1.635	1.755,58	C1
Riacho doce	8	5.218	1.304,54	C2
Pescaria	8	2.784	890,67	C2
Ipioca	8	7.580	1.178,69	C2

Fonte: Adaptado de ABEP (2015) e IBGE (2010).

2.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

Foram identificados, junto às empresas de coleta, os roteiros dos caminhões que fazem a coleta de lixo em Maceió. Esses dados foram cruzados com os dados da Tabela 2, sendo selecionados os bairros de cada região administrativa cujos resíduos são coletados pelo mesmo caminhão e roteiro de coleta. Esses dados foram agrupados como representativos daquela RA, sendo sua população somada e analisada conjuntamente.

Tabela 2. Bairros selecionados e estratos socioeconômicos representativos de cada RA

RA	Bairros	População (2010)	Estrato socioeconômico
1	Pajuçara; Ponta Verde; Ponta da Terra	3.711; 24.402; 8.403	B1; A; C1
2	Trapiche da Barra; Pontal da Barra	2.478; 25.303	C1; C2
3	Jardim Petrópolis; Canaã; Santo Amaro	5.081; 5.025; 1.927	A; C2; C2
4	Chã da Jaqueira; Petrópolis; Chã de bebedouro; Santa Amélia	16.617; 23.675; 10.541; 10.649	C2; C1; C2; B2
5	Jacintinho; Feitosa; São Jorge	86.514; 30.336; 8.445;	C2; C1; C1
6	Antares; Benedito Bentes	17.165; 88.084	B2; C2
7	Cidade Universitária; Santos Dumont	71.441; 20.471	C2; C2
8	Jacarecica; Guaxuma; Garça torta; Riacho doce; Pescaria; Ipioca	5.742; 2.481; 1.635; 5.218; 2.784; 7.580	B2; C1; C1; C2; C2; C2

Selecionados os bairros e os caminhões que fazem o roteiro e a coleta de resíduos destes bairros, foi dado início ao levantamento de dados de gravimetria e de geração *per capita*, realizado dentro da área de recepção de resíduos do aterro sanitário de Maceió.

Os levantamentos gravimétricos foram realizados pelo método do quarteamento, com duas amostras de 400 kg de cada caminhão, coletadas e selecionadas como representativas de cada RA, em dois períodos distintos, um em período de seco e outro, em período chuvoso.

- Seco: junho, julho e agosto/2017 (16 amostras, 2 de cada RA).
- Chuvoso: novembro, dezembro/2017 e janeiro/2018 (16 amostras, 2 de cada RA).

A escolha destes períodos para o estudo objetivou possibilitar a análise da influência da sazonalidade nas propriedades dos resíduos, a fim de comparar dois períodos com características climáticas distintas. De acordo o portal do Proclima - Programa de Monitoramento Climático em Tempo Real da Região Nordeste, no período em estudo, os meses de Junho, julho e agosto (período chuvoso) apresentaram precipitações médias de 398 mm, com temperaturas brandas entre 29°C e 30°C. Já os meses de novembro, dezembro e janeiro (período seco) apresentaram precipitação média de 43 mm, com temperaturas mais elevadas, 33°C.

As informações meteorológicas sobre umidade relativa foram fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), referentes à estação de Maceió-AL (09,67°S, 35.7°W, 64,5m). Os valores referentes aos períodos de junho, julho e agosto; novembro, dezembro e janeiro foram: 61%, 67%, 76%; 56%, 59%, 66%.

2.4 GERAÇÃO PER CAPITA

Já o levantamento de geração *per capita* (kg/hab/dia) das RAs foi realizado com dados coletados na balança do aterro sanitário, fornecidos pela Superintendência de Limpeza Urbana de Maceió (SLUM). Cada caminhão de coleta registra na hora de entrada, seu roteiro de coleta e peso dos resíduos, no período de janeiro a dezembro de 2017.

A geração *per capita* de lixo foi calculada dividindo a massa do resíduo coletado em cada um dos 8 roteiros selecionados, pela população fornecido pelos setores censitários do agrupamento de bairros envolvidos no referido roteiro. Os dados foram tabulados e analisados tanto de forma anual, quanto em função da sazonalidade, período chuvoso (junho, julho e agosto) e período seco (novembro, dezembro e janeiro).

Por fim, os dados do estudo gravimétrico e da geração *per capita* foram analisados de forma comparativa, associando-se os dados obtidos com os estratos socioeconômicos predominantes em cada RA, considerando três tópicos: percentual de resíduos orgânicos, percentual de materiais recicláveis e rejeitos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ANÁLISE DA GERAÇÃO *PER CAPITA* DE RSU DE MACEIÓ

Os resultados de geração *per capita* dos resíduos sólidos domiciliares, por região administrativa, em função da sazonalidade estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Geração diária *per capita* por RA

RA	Estratos	Geração per capita diária por RA		
		Chuvoso	Seco	Global
RA 1	B1, A, C1	0,77	0,98	0,87
RA 2	C1, C2	0,67	0,70	0,68
RA 3	A, C2, C2	0,64	0,73	0,68
RA 4	C2, C1, C2, B2	0,59	0,48	0,53
RA 5	C2, C1, C1	0,58	0,59	0,58
RA 6	B2, C2	0,53	0,57	0,55
RA 7	C2, C2	0,44	0,45	0,44
RA 8	B2, C1, C1, C2, C2, C2	0,46	0,37	0,41

A região que apresentou a maior geração *per capita* foi a RA1, com 0,77 kg.hab-1.d-1, no período chuvoso (junho, julho e agosto); e 0,98 kg.hab-1.d-1, no período seco (novembro, dezembro e janeiro). Pode-se inferir que estes resultados foram influenciados pelos bairros Pajuçara e Ponta Verde, cuja população é de classe média alta, de estratos socioeconômicos B1 e A, respectivamente. Em estudos semelhantes, constatou-se que os grupos socioeconômicos de médio e alto rendimento geram mais resíduos (KHAN; KUMAR; SAMADDER, 2016). O inverso aconteceu nos roteiros RA7 e RA8, com percentuais 0,44 e 0,45 kg.hab-1.d-1 e 0,46 e 0,37 kg.hab-1.d-1, respectivamente. Observa-se que, nestas regiões, predominam os bairros de classe baixa, mais especificamente, o estrato socioeconômico C2. Os dados aqui levantados mostram que cada roteiro apresenta características econômicas predominantes, que atuam na geração *per capita* de resíduos, estando em conformidade com o que cita Campos (2012), de que a geração *per capita* está relacionada ao poder aquisitivo da população.

A geração *per capita* média global no período chuvoso foi de 0,58 kg.hab-1.d-1, já no período seco, a média foi de 0,60 kg.hab-1.d-1, valores semelhantes. O valor médio global para Maceió foi de 0,59 kg.hab-1.d-1 para Maceió/AL, cidade

litorânea no nordeste brasileiro. Estudos semelhantes de levantamento de geração *per capita* revelaram que para Jaú/SP e Santa Cruz do Sul/RS, em período seco, apresentaram 0,64 kg.hab-1.d-1, 0,69 kg.hab-1.d-1 (RESENDE *et al.*, 2013; TRENTIN *et al.*, 2019). Já em Juazeiro do Norte/CE, em período chuvoso, o valor observa foi de 0,47 kg.hab-1.d-1 (FEITOSA *et al.*, 2018), cidade de uma região menos desenvolvida no nordeste brasileiro, o que demonstra que as características locais influenciam na geração *per capita* dos resíduos.

3.2 ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA

Com o objetivo de sintetizar a gravimetria dos resíduos sólidos gerados em cada região administrativa de Maceió, a composição foi dividida em três tópicos: fração orgânica, fração de recicláveis e fração de rejeitos. A Tabela 4 apresenta os dados obtidos.

Tabela 4. Percentuais (em peso) de materiais orgânicos, recicláveis e rejeitos

RA	Estratos	Período chuvoso			Período seco		
		Org %	Rec %	Rej %	Org.%	Rec.%	Rej. %
RA 1	A, B1, C1	71,65	21,45	6,90	72,90	17,55	9,55
RA 2	C1, C2	71,75	11,95	16,30	69,30	21,25	9,45
RA 3	A, C2, C2	55,90	21,50	22,60	60,50	26,80	12,70
RA 4	B2, C1, C2	68,40	19,10	12,50	63,90	25,65	10,45
RA 5	C1, C2	73,40	13,50	13,10	64,40	27,60	8,00
RA 6	B2, C2	60,70	20,00	19,30	63,70	18,20	18,10
RA 7	C2, C2	72,30	20,75	6,95	63,70	25,95	10,35
RA 8	B2, C1, C2,	72,30	16,20	11,50	74,40	17,65	7,95

3.3 PARCELA GRAVIMÉTRICA DE ORGÂNICOS

Pelos dados da Tabela 4 verifica-se que a composição dos resíduos que chegam ao aterro sanitário tem predomínio de matéria orgânica, com valor superior a 55%, chegando a ser superior a 70% em 5 das 8 RAs. Outros estudos mostram resultados compatíveis, inclusive fora do Brasil, como de 77,78%, no Delta do Mekong, Vietnã (THANH *et al.*, 2010); e 80,00% em Dehradun, Índia,(SUTHAR e SINGH, 2015).

A menor fração de resíduos orgânicos foi identificada na RA3 com 55,90% no período chuvoso e 60,70% no período seco, onde estão os bairros Jardim Petrópolis, Canaã e Santo Amaro, com estrato socioeconômico A, C2 e C2, respectivamente.

No período chuvoso, as RA5, RA7 e RA8 apresentaram o maior percentual da fração orgânica 73,40%, 72,30% e 72,30%, respectivamente, com estrato socioeconômico predominante C2 (renda familiar baixa). Segundo Campos (2012), famílias mais pobres são propensas a gerarem mais resíduos orgânicos. A produção de resíduos varia de acordo com o estrato socioeconômico a que a família pertence (ORJEDA-BENÍTZ, ARMIJO-DE VEGA, MARQUEZ-MONTENEGRO, 2008).

No entanto, merece destaque a região RA1, que embora seja uma região que predomina estrato socioeconômico A e B1, apresentou uma fração de resíduos orgânicos superiores a 70%, tanto no período seco quanto chuvoso.

A análise global sobre influência da sazonalidade nas características dos resíduos sólidos, não mostrou variação significativa, ao contrário do que foi encontrado no trabalho realizado em quatro cidades de países da Europa Oriental (Lituânia, Rússia, Ucrânia e Geórgia) por Denafas *et al.* (2014), que revelaram que as variações sazonais influenciam a composição dos resíduos orgânicos. Não obstante, o resultado do presente trabalho está em concordância com o trabalho de Edjabou, Boldrin e Astrup (2018), que, no estudo sobre resíduos orgânicos, não encontraram variação significativa em relação à sazonalidade.

3.4 PARCELA GRAVIMÉTRICA DE RECICLÁVEIS

A fração de material potencialmente reciclável variou entre 11,95%, na RA2 no período chuvoso, e 27,6%, na RA5 no período seco. Zeng *et al* (2016) ressaltam que esses percentuais podem elevar-se se a população separar esses materiais de forma adequada. Dessa forma, o conhecimento da população sobre como separar esses materiais, é de grande importância, podendo aumentar a cadeia produtiva das cooperativas, geração de renda e a conscientização ambiental. De maneira geral no período chuvoso os resíduos apresentaram menor fração de material potencialmente reciclável. A maior variação sazonal foi observada na RA5 13,5% no período chuvoso e 27,6% no período seco. Nas demais regiões a influência da sazonalidade foi menos significativa.

A maior fração de material com potencial reciclável foi observada no roteiro da RA5 (27,6% no período seco) onde predominam bairros com estratos socioeconômicos C1 e C2 (renda familiar baixa); seguida pelo RA3 (26,8% também no período seco), compostos por bairros com estratos socioeconômicos A e C2, mais com predomínio de C2. Estes resultados estão no sentido oposto ao que cita a literatura, onde populações com renda familiar mais elevada tendem a gerar mais materiais potencialmente recicláveis. No entanto, em Maceió, os bairros de maior classe social sempre atraem a coleta destes materiais por cooperativas de catadores o que resulta em menor fração desse material nos resíduos que chegam ao aterro sanitário.

A pesquisa verificou que existe em Maceió, 4 cooperativas de catadores de materiais recicláveis, Cooprel Antares, Cooprel Benedito Bentes, Cooplum e Coopvila. Essas cooperativas são responsáveis pela coleta seletiva em alguns bairros de Maceió. Destaca-se a importância de ampliação da coleta seletiva, com intuito na diminuição dos resíduos levados ao aterro sanitário, além da geração de emprego e renda. Para tanto, é importante um processo de educação ambiental da população, incentivo as cooperativas de catadores de materiais recicláveis, por parte do poder público, algo de muita importância ambiental. Corroborando, Hisatugo e Marçal Júnior (2007), o comprometimento do poder público é de suma importância para a sustentabilidade do setor de reciclagem, trazendo ganhos significativos em termos ambientais, sociais e econômicos.

3.5 PARCELA GRAVIMÉTRICA DE REJEITOS

Quando a fração de rejeitos nas RAs verificou-se uma variação entre 6,90% a 22,60%, no período chuvoso e 9,55% a 18,10, no período seco. Observou-se um volume maior de rejeitos no período chuvoso. A maior variação sazonal foi observada na RA3, 22,60%, no período chuvoso e 12,70% no período seco.

A geração de rejeitos foi maior no roteiro Antares e Benedito Bentes (RA6), que são bairros de estratos B2 e C2, C2 e C2, com geração média de 18,70%, e Jardim Petrópolis, Canaã e Santo Amaro (RA3), que são bairros de estratos A, C2 e C2, com geração média de 17,65%, dos resíduos coletados, respectivamente.

Os roteiros Pajuçara, Ponta Verde e Ponta da Terra (RA1), que são bairros de estratos A, B1, C1, apresentaram a menor geração média de rejeitos 8,23%. Cabe destacar que, parte dos resíduos considerados como rejeito, seja passível de reciclagem ou reutilização para outros fins. Dal Pont et al., (2013), afirma que é preciso fazer uma análise isolada de cada material, (rejeito) e agregar a fração reciclável.

A pesquisa verificou uma parcela significativa de trapos (roupas usadas), classificado no estudo como rejeitos, que pode ser devido o surgimento de lojas, com peças de vestuário, com preços relativamente baixos, bem como, em função das tendências de moda (NORUP et al., 2019). Corroborando, Konrad, Casaril e Schmitz, (2010), em seu estudo sobre os resíduos sólidos domésticos de Lajeado/RS pela caracterização gravimétrica, enfatiza que, a separação adequada de rejeitos pode contribuir para uma maior quantidade de materiais potencialmente recicláveis, a ser destinada para reciclagem.

3.6 EVOLUÇÃO DA GERAÇÃO *PER CAPITA* E DA COMPOSIÇÃO DOS RSU DE MACEIÓ

Visando avaliar a evolução da composição gravimétrica e de geração *per capita* de resíduos sólidos, os dados médios levantados nesta pesquisa foram compilados na Tabela 5 e comparados com os dados de pesquisas anteriores, realizadas no período de 1997 a 2008, em Maceió, apresentados na Tabela 6 e 7.

Tabela 5. Médias de orgânicos, reciclável, rejeito e geração *per capita*

RA's	Estratos socioeconômicos	Orgânico%	Reciclável%	Rejeito%	Geração <i>per capita</i>
RA 1	B1, A, C1	72,27	19,50	8,23	0,87
RA 2	C1, C2	70,52	16,60	12,87	0,68
RA 3	A, C2, C2	58,20	24,15	17,65	0,68
RA 4	C2, C1, C2, B2	66,15	22,37	11,47	0,53
RA 5	C2, C1, C1	68,90	20,55	10,55	0,58
RA 6	B2, C2	62,20	19,10	18,70	0,55
RA 7	C2, C2	68,00	23,35	8,65	0,44
RA 8	B2, C1, C2, C2, C2, C2	73,35	16,93	9,72	0,41
GLOBAL		67,45	20,32	12,23	0,59

Tabela 6. Caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos em Maceió entre 1997 e 2008

Componentes	Percentual dos componentes no RSU (%)			
	Farias e Souza - 1996	JUCÁ - 2002	CUNHA - 2005	TAVARES - 2008
Papel/papelão	11,20	16,00	10,50	8,90
Madeira	0,60	Inertes 10,0	2,30	0,50
Trapos	2,80		3,20	2,60
Couro/borracha	0,50		0,00	1,00
Plástico duro	2,20	13,00	5,10	10,20
Plástico mole	6,80		16,30	3,30
Latas/metals	2,20	3,00	2,70	1,80
Vidro	1,50	2,00	3,10	1,30
Terras/similares	18,80	0,00	5,10	13,80
Matéria orgânica	52,60	50,00	51,00	56,60
Outros	0,80	6,00	0,70	0,00
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabela 7. Evolução das médias de materiais orgânicos, recicláveis e rejeitos e geração *per capita*

Autores	Orgânico%	Reciclável%	Rejeito%	Geração <i>per capita</i>
Farias e Souza (1996)	52,60	23,90	23,50	0,86
Jucá (2002)	50,00	34,00	16,00	1,35
Cunha (2005)	51,00	37,70	11,30	0,84
Tavares (2008)	56,60	25,50	17,90	0,90

No que diz respeito a geração *per capita*, a pesquisa realizada por Farias e Souza (1996) em Maceió, revelou um valor de 0,69 kg.hab-1.d-1 de resíduo domiciliar e 0,17 kg.hab-1.d-1 de resíduo urbano, totalizando 0,86% kg.hab-1.d-1. A pesquisa de Jucá (2002) estimou uma produção *per capita* de lixo para Maceió, de 1,35 kg.hab-1.d-1. A pesquisa de Cunha (2005) estimou uma produção *per capita* de 0,84% kg.hab-1.d-1. Porém, estas pesquisas os autores os dados não foram levantados por regiões administrativas e roteiros dos caminhões de coleta. Já o trabalho de Tavares (2008), fez o levantamento da taxa e geração *per capita* de resíduos sólidos urbanos de Maceió, considerando as regiões administrativas e roteiros dos caminhões de coleta, verificou-se uma taxa de geração *per capita* de 0,90 kg.hab-1.d-1. Vale pontuar que todos esses trabalhos foram realizados com amostras de resíduos coletados na entrada do antigo lixão, e que não havia um critério rígido de recebimento dos resíduos, os quais, muitas vezes continham inclusive entulhos. Ao contrário, a presente pesquisa, foi realizada com resíduos coletados na balança do atual aterro sanitário, onde o critério de recebimento é mais rigoroso e pouco se verifica a presença de entulhos no mesmo. Isso pode justificar o menor valor de geração *per capita* de lixo observado de 0,59 kg.hab-1.d-1.

Quanto à composição gravimétrica, os trabalhos de Galvão (1997), Jucá, (2002), Cunha (2005), sobre composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos de Maceió, encontraram 52,60%; 50,00%; 51,00% de matéria orgânica, 23,90%; 34,00%; 37,70% de recicláveis, e 23,50%; 16,00%; 11,30% de rejeitos, respectivamente, mas nenhum deles foi feito por regiões administrativas e roteiros dos caminhões de coleta. Já no trabalho de Tavares (2008) o levantamento foi feito por regiões administrativas e roteiros dos caminhões de coleta, foi observado 56,60% de matéria orgânica, 25,50% de recicláveis e 17,90% de rejeitos.

Comparando os valores dessa pesquisa (Tabela 5) com os dados da tabela 6 e 7, verifica-se que o percentual de matéria orgânica cresceu atingindo 67,45%. Consequentemente os valores percentuais de recicláveis 20,32%, e rejeitos 12,23%, foram menores. Numa análise global observa-se que, trabalho realizado por sazonalidade, por roteiro de coleta e região administrativa, pode ter resultados mais precisos sobre produção de resíduos orgânicos, podendo melhorar no sistema de

gestão e conversão em energia como também observado por Braguglia et al. (2018); Abad et al. (2019) e Storch et al. (2019); Zorpas et al. (2018).

A diminuição dos recicláveis e rejeitos pode ter sido influenciada, pela retirada desses materiais por cooperativas de catadores, que tem sido fortemente incentivada depois do encerramento do lixão de Maceió, diminuindo a fração desses materiais que chegam ao aterro sanitário.

Observa-se a importância da utilização da logística reversa. Instrumento para gestão de resíduos, definida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010), instrumento que viabilizará a coleta e a restituição de resíduos sólidos ao setor empresarial, para aproveitamento, em seu ciclo ou outros ciclos produtivos, ou outra destinação ambientalmente adequada. Dessa forma, a importância das empresas terem responsabilidade compartilhada sobre o manejo e retorno dos resíduos.

Verificou-se que, o percentual dos resíduos orgânicos, aumentou ao longo do tempo. Deste modo, poder-se-á implementar uma infraestrutura de compostagem, como alternativa na diminuição dos resíduos encaminhados para o aterro sanitário. Corroborando, Siqueira e Assad (2015), a compostagem de resíduos orgânicos, pode ser exitosa.

4 CONCLUSÃO

O estudo de geração per capita, realizado por sazonalidade, regiões administrativas e roteiros dos caminhões de coleta, apresentou no período chuvoso (junho, julho e agosto), 0,58 kg.hab-1.d-1 e no período seco (novembro, dezembro e janeiro), 0,61 kg/hab./dia, resultando numa geração global média de 0,59 kg.hab-1.d-1 de resíduos em Maceió. Inferior aos valores anteriormente observados em Maceió na época que existia lixão, certamente devido à maior seletividade dos resíduos atualmente destinados ao aterro sanitário.

Em Maceió não foi observada diferenças significativas da geração per capita nos períodos chuvoso e seco. A região que apresentou a maior geração por variação sazonal per capita foi a RA1, com 0,77 kg.hab-1.d-1, no período chuvoso e 0,98 kg.hab-1.d-1, no período seco, cuja população é de classe média alta, de estratos socioeconômicos B1 e A, respectivamente.

O inverso aconteceu nas RA7 e RA8, com percentuais 0,44 e 0,45 kg.hab-1.d-1 e 0,46 e 0,37 kg.hab-1.d-1, respectivamente. Nestas regiões, predominam os bairros de classe baixa, mais especificamente, o estrato socioeconômico C2.

Quanto a composição, a presença de matéria orgânica, no período chuvoso foi de 68,30%, no período seco, 66,60%, resultando num valor médio global de

67,45%. Constatou-se que na região RA 8, que possui bairros de maior relevância, com estratos predominantes C1 e C2, detentores de menor poder aquisitivo e baixa qualidade de vida (a única exceção é o bairro Jacarecica, classificado com o estrato B2), houve maior geração de resíduos orgânicos, com 73,35%. Infere-se que a geração de resíduos é influenciada pelos estratos socioeconômicos dos bairros que compõem cada roteiro. Trabalhos anteriores realizados em Maceió apresentaram percentuais globais médios de matéria orgânica inferiores, da ordem de 52%, mas não apontaram qual região tinha maior influência neste percentual. Assim, trabalhos realizados por sazonalidade e regiões administrativas a partir de roteiros dos caminhões de coleta, podem produzir resultados mais precisos sobre geração de resíduos orgânicos facilitando a gestão dos resíduos sólidos.

O material com potencial reciclável, no período chuvoso foi de 18,05%, e no período seco, 22,58%, totalizando uma média de 20,32%. As regiões RA3 e RA7, que compreendem bairros de estratos socioeconômicos A, C2, C2 e C2, C2, apresentam no período chuvoso e seco, percentuais de 21,50% e 26,80%; 20,75% e 25,95%, respectivamente, totalizando um valor global de 24,15% e 23,35% dos resíduos recicláveis. Esses percentuais são inferiores aos observados em pesquisas anteriores, certamente, devido ao incentivo as cooperativas de catadores depois que o aterro sanitário entrou em operação.

Os rejeitos, no período chuvoso foram 13,64%, no período seco, 10,81%, com valor global de 12,23%. A maior variação do percentual de rejeitos ocorreu no período chuvoso na RA6, com estratos socioeconômicos, B2 e C2, variando de 19,30%, no período seco a 18,10% no período chuvoso.

Observou-se que, o percentual de resíduos orgânicos, recicláveis e rejeitos, variam de acordo poder de compra das pessoas, estratos socioeconômicos e regiões administrativas.

Portanto, é imprescindível, a adoção de política para implementação de uma infraestrutura de compostagem, como alternativa na diminuição dos resíduos encaminhados para o aterro sanitário. Adicionalmente, a adoção da logística reversa por parte das empresas, no sentido de terem responsabilidade compartilhada sobre o manejo e retorno dos resíduos.

A identificação da procedência dos resíduos a partir dos roteiros de coleta mostrou-se uma ferramenta útil na discretização da geração *per capita* e composição dos resíduos sólidos que chegam ao aterro sanitário.

Recomenda-se, a continuidade da proposta de discretização da geração *per capita* e da caracterização de resíduos por regiões administrativas a partir dos roteiros dos caminhões de coleta, como também a utilização da metodologia em

outros estados e regiões, para obtenção de resultados mais precisos, possam ser alcançados. Adicionalmente, pode-se ainda, investigar a geração de resíduos a partir dos hábitos de consumo dos membros das famílias nas regiões administrativas e roteiros de coleta.

5 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIA

ABAD, V.; AVILA, R.; VICENT, T.; FONT, X. Promoting circular economy in the surroundings of an organic fraction of municipal solid waste anaerobic digestion treatment plant: Biogas production impact and economic factors. **Bioresource Technology**, v. 283, p. 10-17, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE PESQUISA-ABEP. **Critério de Classificação Econômica Brasil**. 2015. Disponível em: <http://www.abep.org/criterio-brasil>. Acesso em: 11 set. 2017.

BRAGUGLIA, C. M.; GALLIPOLI A.; GIANICO, A. PAGLIACCIA, P. Anaerobic bioconversion of food waste into energy: A critical review. **Bioresource Technology**, v. 248, p. 37–56, 2018.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE. **População de Maceió, estimativa, 2017**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/maceio/panorama>. Acesso em: 11 out. 2018.

BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos** - 2016. Brasília. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnosticos> . Acesso em: 11 out. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. Política Nacional de Resíduos Sólidos-PNRS. Lei nº 12.305/2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm Acesso em: 17 jul. 2020.

CAMPOS, H. K. T. Renda e evolução da geração per capita de resíduos sólidos no Brasil. **Eng Sanit Ambient**, v.17, n. 2, p. 171-180, 2012.

CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25., 2009, Recife. Anais, [...]. Recife: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009.

COSTA, L. E. B.; COSTA, S. K.; REGO, N. A. C.; SILVA JUNIOR, M. F. Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos Domiciliares e Perfil Socioeconômico no Município de Salinas, Minas Gerais. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 3, n. 1, 2012.

DAL PONT, C. B.; VALVASSORI, M. L.; GUADAGNIN, M. R. Estudo de Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos de Seis Municípios de Pequeno Porte do Sul de Santa Catarina. 4 Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. Porto Alegre, RS, 2013.

DANGI, M. B.; URYNOWICZ, M. A.; BELBASE, S. Characterization, generation, and management of household solid waste in Tulsipur, Nepal. **Habitat Internacional**, v. 40, p. 65-71, 2013.

DENAFAS, G.; RUZGAS, T.; MARTUZEVICIUS, D.; SHMARIN, S.; HOFFMANN, M.; MYKHAYLENKO, V.; OGORODNIK, S.; ROMANOV, M.; NEGULIAEVA, E.; CHUSOV, A.; TURKADZE, T.; BOCHOIDZE, I.; LUDWIG, C. Seasonal variation of municipal solid waste and composition in four East European cities. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 89, p. 22-30, 2014.

DEUS, R. M.; BATTISTELLE, R. A.G.; SILVA, G. H. R. Current and Future Environmental Impact of Household Solid Waste Management Scenarios for a Region of Brazil: carbon dioxide and energy analysis. **Journal of Cleaner Production**, v.155, p.218-228, 2017.

DIAS, D. M.; MARTINEZ, C. B.; BARRS, R. T. V.; LIBÂNIO, M. Modelo para estimativa da geração de resíduos sólidos domiciliares em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas conjunturais. **Eng Sanit Ambient**, v.17, n.3, p. 325-332, 2012.

EDJABOU, M. E.; BOLDRIN, A.; ASTRUP, T. F. Compositional analysis of seasonal variation in Danish residual household waste. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 130, p.70-79, 2018.

FARIAS, A. M.; SOUZA, A. L. G. de. A Situação dos Resíduos Sólidos em Maceió. (Monografia de Graduação em Engenharia Civil). Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas. Maceió, AL. 62 p., 1996.

FEITOSA, A. K.; BARDEN, J. E.; KONRAD, O.; MATOS, M. A. A. Economic valuation in selective solid waste collection. **Sustentabilidade em Debate - Brasília**, v. 9, n.3, p. 171-184, 2018.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, N. 6, p. 1503-1510, 2012.

HÉNAUT-ETHIER, L.; MARTIN, Jean-Philippe.; HOUSSET, J. A dynamic model for organic waste management in Quebec (D-MOWIC) as a tool to review environmental societal and economic perspectives of a waste management policy. **Waste Management**, v. 66, p. 196-209, 2017.

HISATUGO, E.; MARÇAL JÚNIO, O. Coleta seletiva e reciclagem como instrumentos para conservação ambiental: um estudo de caso em Uberlândia, MG. **Sociedade & Natureza**, v.19, n.2, p. 205-216, 2007.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=tempo/valoresExtremos> Acesso em: 17 jul. 2020.

JUCÁ, J. F. T. **Diagnóstico de resíduos sólidos do estado de Alagoas**. Relatório final. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento / MMA. 2002.

KHAN, D.; A. KUMAR, A.; SAMADDER, S. R. Impact of socioeconomic status on municipal solid waste generation rate. **Waste Management**, v. 49, p. 15-25, mar. 2016.

KONRAD, O.; CALDERAN, T. B.; SCHMEIER, N. P.; CASARIL, C. E.; LUMI, M.. Composição gravimétrica dos resíduos sólidos destinados para uma central de triagem, compostagem e disposição final. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, Aquidabã, v.5, n.1, p.284-292, 2014.

KONRAD, O.; CASARIL, C. E.; SCHMITZ, M. Estudo dos Resíduos Sólidos Domésticos de Lajeado/RS pela Caracterização Gravimétrica. **Revista Destaques Acadêmicos**, v. 4, n. 2, 2010.

KONRAD, O.; SILVA, G. R.; KONRAD, A. C.; HASAN, C.; MARDER, M. SCHMEIER, N. P. Geração per Capita de Resíduos Sólidos Domésticos na Zona Urbana de Municípios do Vale do Taquari – RS. **Revista Educação Ambiental**, v. 53, Ano XIV., set./nov. 2015.

KONRAD, O.; SILVA, G. R.; KONRAD, A. C.; HASAN, C.; MARDER, M.; SCHMEIER, N. P. Geração Per Capita de Resíduos Sólidos Domésticos na Zona Urbana de

Municípios do Vale do Taquari - RS. **Revistaea**, 2015. Disponível em: <http://www.revistaea.org/pf.php?idartigo=2117>. Acesso em: 06 jul. 2019.

MELO, E. N. C. Levantamento Setorial da Produção Per Capita de Resíduos Sólidos Domésticos em Maceió/AL e Quantificação do Material Reciclável Retirado do Vazadouro de Lixo da Cidade. 2007. 98 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Auditoria Ambiental) - Fundação Universitária Iberoamericana, Universidad de León, Espanha, 2007.

NORUP, N.; PIHI, K.; DAMGAARDA, A.; SCHEUTZA, C. Quantity and quality of clothing and household textiles in the Danish household waste. **Waste Management**, v.87, p. 454-463, 2019.

ORJEDA-BENÍTZ, S.; ARMIJO-DE VEGA, C.; MARQUEZ-MONTENEGRO, M. Y. Household solid waste characterization by Family socioeconomic profile as unit of analysis. **Resources Conservation and Recycling**, v. 52, p. 992-999, 2008.

PROGRAMA DE MONITORAMENTO CLIMÁTICO EM TEMPO REAL DA REGIÃO NORDESTE-PROCLIMA. Levantamento climático/2017. Disponível em: http://proclima.cptec.inpe.br/AL_atual.shtml. Acesso em: 21 mar. 2019.

RESENDE, J. H.; CARBONI, M.; MURGEL, M. A. T.; CAPPS, A. L. A. P.; TEIXEIRA, H. L.; SIMÕES, G. T. C.; RUSSI, R. R.; LOURENÇO, B. L. R.; OLIVEIRA, C. A. Composição gravimétrica e peso específico dos resíduos sólidos urbanos em Jaú (SP). **Eng Sanit Ambien**, v.18, n.1, p.1-8, 2013.

SAHIMAA, O.; HUPPONEN, M.; HORTTANAINEN, M.; SORVARI, J. Method for residual household waste composition studies. **Waste Management**, v.46, p. 3-14, 2015.

SIMPÓSIO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 10, Maceió, 2010. [Anais]. Maceió, AL: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2010.

SIQUEIRA, T. M. O.; ASSAD, M. L. R. C. L. Compostagem de resíduos sólidos urbanos no Estado de São Paulo (Brasil). **Ambiente & Sociedade**, v. XVIII, n. 4, p. 243-264, 2015.

SLORACH, P. C.; JESWANI, H. K.; CUÉLLAR-FRANCA, R.; AZAPAGIC, A. Azapagic. Environmental sustainability of anaerobic digestion of household food waste. **Journal of Environmental Management**, v. 236, p. 798-814, 2019.

SLUM - SUPERINTENDÊNCIA DE LIMPEZA URBANA DE MACEIÓ. Diagnóstico de resíduos/2017. Disponível em: <http://www.maceio.al.gov.br/slum/> . Acesso em: 11 Out. 2018.

SOARES, E. L. S. F. Estudo da Caracterização Gravimétrica e Poder Calorífico dos Resíduos Sólidos Urbanos. 2011.133 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil, COPPE) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2011.

SUTHAR, S.; SINGH, P. Household solid waste generation and composition in different Family size and socio-economic groups: A case study. **Sustainable Cities and Society**, v. 14, p. 56-63, 2015.

TAVARES, J. C. L. Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos da Cidade de Maceió-AL. 2008. 116 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, 2008.

THANH, N. P.; MATSUI, Y.; FUJIWARA, T. Household solid waste generation and characteristic in a Mekong Delta City, Vietnam. **Journal of Environmental Management**, v. 91, p. 2307-2321, 2010.

TRENTIN, A. W. S.; BRAUN, A. B.; RODRÍGUEZ, A. L.; LOPES, D. A. R. Estudo da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos em Santa Cruz do Sul, Brasil. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 13, n. 1, p. 07-14, 2019.

ZENG, C.; NIU, D.; LI, H.; ZHOU, T.; ZHAO, Y. Public perceptions and economic values of source-separated collection of rural solid waste: A pilot study in China. **Resources, Conservation and Recycling**, v.107, p. 166-173, 2016.

ZORPAS, A. A.; LASARIDI, K.; POCIOVALISTEANU, M. P.; Pantelitsa LOIZIA, P. Monitoring and evaluation of prevention activities regarding household organics waste from insular communities. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 3567-3577, 2018.

4 ARTIGO 3

SILVA, C. O.; KONRAD, O.; CALLADO, N. H.; MARDER, M.; ARAUJO, L. G. S. Resíduos sólidos orgânicos domésticos como substrato potencial para a produção de biogás. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v.11, n.2, p.204-212, 2020c.

Artigo publicado na Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais (RICA) – ISSN 2179-6858. O periódico possui estrato superior em Ciências Ambientais, na classificação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).



Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais
Ibero-American Journal of Environmental Sciences

Fev a Mar 2020 - v.11 - n.2



ISSN: 2179-6858

This article is also available online at:
www.sustenere.co

Resíduos sólidos orgânicos domésticos como substrato potencial para produção de biogás

O processo de digestão anaeróbia é uma alternativa de tratamento de materiais orgânicos e produção de energia renovável. A qualidade do biogás é dependente do tipo de substrato inoculado em reatores anaeróbios. Resíduos sólidos orgânicos domésticos apresentam quantidade de matéria orgânica volátil satisfatória para a produção de biogás. Foram identificados junto às empresas de coleta, os roteiros dos caminhões que fazem a coleta de lixo em Maceió. Selecionados os bairros e os caminhões que fazem o roteiro e a coleta de resíduos destes bairros, foi dado início ao levantamento de dados de gravimetria no aterro sanitário. Identificar o potencial de produção de biogás deste resíduo é necessário para buscar outra logística de destinação e reduzir a disposição em aterro sanitário. Neste sentido, o presente estudo teve como objetivo avaliar o potencial bioquímico de biogás (PBB) e metano (PBM) dos resíduos sólidos orgânicos de origem doméstica (resíduos novos-RN), proveniente do aterro sanitário de Maceió, Alagoas. O ensaio de digestão anaeróbia foi realizado no Sistema Automatizado de Medição de Biogás (SAMB) no Centro de Pesquisa em Energia e Tecnologias Sustentáveis – CPETS/TECNOVATES - Univas/RS. O teste de PBB e PBM foi realizado pelo método padrão de fermentação, descrito na normativa alemã VDI 4630. Foram inoculadas uma triplicata de Inoculo como branco (IN), uma triplicata com celulose microcristalina como amostra padrão (CM) e a triplicata com o resíduo sólido orgânico doméstico como substrato (RSOD). A qualidade do biogás foi avaliada por sensor específico de medição de metano e por cromatografia gasosa. O resultado do ensaio de digestão anaeróbia mostra que o RSOD apresenta PBB de $817,70 \pm 13,43 \text{ m}^3$. TonSV-1 com alto teor de metano (percentual máximo de metano de 75,15 %). Além disso, o período incubação do substrato foi de 17 dias, isso mostra a facilidade de os microrganismos assimilarem este substrato. Considerando os resultados obtidos, destaca-se que o RSOD apresenta potencial energético para uso como substrato em biodigestores anaeróbios.

Palavras-chave: RSOD; Digestão Anaeróbia; Energia Renovável; Metano.

Domestic organic solid waste as a potential substrate for biogas production

The anaerobic digestion process is an alternative for treating organic materials and producing renewable energy. The quality of the biogas depends on the type of substrate inoculated in anaerobic reactors. Domestic organic solid waste has a satisfactory amount of volatile organic matter for the production of biogas. The itineraries of the trucks that collect garbage in Maceio were identified with the collection companies. After selecting the neighborhoods and trucks that make the route and collecting waste from these neighborhoods, the survey of gravimetric data at the landfill was started. Identifying the biogas production potential of this waste is necessary to seek other destination logistics and to reduce the disposal in landfill. In this sense, the present study aimed to evaluate the biochemical potential of biogas (BPB) and methane (BPM) of solid organic waste of domestic origin (new waste-NW), from the landfill in Maceio, Alagoas. The anaerobic digestion test was performed in the Automated Biogas Measurement System (SAMB) at the Research Center for Energy and Sustainable Technologies - CPETS/TECNOVATES - Univas/RS. The BPB and BPM test was carried out by the standard fermentation method, described in the German standard VDI 4630. An inoculum triplicate was inoculated as white (IN), a triplicate with microcrystalline cellulose as a standard sample (CM) and the triplicate with the residue domestic organic solid as a substrate (DOSW). The quality of the biogas was assessed by a specific methane measurement sensor and by gas chromatography. The result of the anaerobic digestion test shows that the DOSW presents PBB of $817.70 \pm 13.43 \text{ m}^3 \cdot \text{tonSV}^{-1}$ with a high methane content (maximum methane percentage of 75.15%). In addition, the incubation period of the substrate was 17 days, this shows the ease of microorganisms to assimilate this substrate. Considering the results obtained, it has highlighted that the DOSW has energetic potential for use as a substrate in anaerobic bioreactors.


Keywords: DOSW; Anaerobic Digestion; Renewable Energy; Methane.

Topic: **Sistemas de Energia Sustentável**


Received: **01/02/2020**

Approved: **07/03/2020**


Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Claudionor de Oliveira Silva 
Universidade do Vale do Taquari, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7914499903341694>
<http://orcid.org/0000-0002-6566-0451>
claudionor.silva@universo.univates.br

Odorico Konrad 
Universidade do Vale do Taquari, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9946679953072196>
<http://orcid.org/0000-0002-6968-7969>
okonrad@univates.br

Nélia Henriques Callado 
Universidade Federal de Alagoas, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8042175776163111>
<http://orcid.org/0000-0002-2393-555X>
nelia.callado@yahoo.com.br

Munique Marder 
Universidade do Vale do Taquari, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6070031909886243>
<http://orcid.org/0000-0002-1388-4306>
mmarder@univates.br

Liz Geise Santos de Araujo 
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4373479527873700>
<http://orcid.org/0000-0003-0196-7064>
lizaraujoeng@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2020.002.0022

Referencing this:

SILVA, C. O.; KONRAD, O.; CALLADO, N. H.; MARDER, M.; ARAUJO, L. G. S.. Resíduos sólidos orgânicos domésticos como substrato potencial para produção de biogás. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.11, n.2, p.204-212, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.002.0022>

INTRODUÇÃO

O consumo desenfreado de combustíveis fósseis contribui diretamente e extensivamente para o aumento dos gases de efeito estufa (GEE). Sua redução poderia ser acelerada através da utilização de energias renováveis, para atender as necessidades da economia, com menores impactos ambientais. A probabilidade de aproveitamento energético, dos resíduos sólidos orgânicos de origem doméstica é comprovada por estudos de avaliação já desenvolvidos, a partir da análise de biogás e geração de metano por meio da digestão anaeróbia. Hasan et al. (2019), em seu estudo sobre produção de biogás, no Vale do Taquari, Rio Grande do Sul, destaca a importância da digestão anaeróbia, visando a produção de biogás e o aproveitamento energético. Slorach et al. (2019), enfatiza a importância do estudo da digestão anaeróbia, na sustentabilidade ambiental, do ciclo de vida e recuperação de energia, dos resíduos domésticos. Abad et al. (2019), mostraram a viabilidade de utilização da digestão anaeróbia, para melhorar a gestão da fração orgânica, dos resíduos sólidos urbanos, em Catalunha, Espanha.

O reaproveitamento dos resíduos sólidos orgânicos, como substrato para a digestão anaeróbia, pronuncia-se como alternativa de energia renovável. Aziz et al. (2020), em seu estudo sobre biogás e metano de resíduos sólidos orgânicos, na Malásia, apontam como uma tecnologia promissora, podendo alcançar o desenvolvimento sustentável por meio de energia limpa e consumo sustentável.

Em termos de energias renováveis, os resíduos sólidos orgânicos, como substrato para a digestão anaeróbia, vêm ganhando espaço na matriz energética brasileira. Um exemplo é o biogás, usado como fonte de energia. “Energia, potencial, limpa e sustentável” (GUERINI FILHO et al., 2018). Destarte, pesquisas passaram a ganhar espaço, na perspectiva da necessidade de utilizarem outros meios de geração de eletricidade, como é o caso do aproveitamento da biomassa, proveniente de atividades agroindustriais e domiciliares (MALAGGUI et al., 2014).

Maceió, capital do Estado de Alagoas, localizada no Nordeste do Brasil, produz em média 1.141,11 toneladas de resíduos orgânicos de origem doméstica por ano (PERS, 2016). Os resíduos orgânicos de origem doméstica podem apresentar potencial possível na sua conversão em biogás, demonstrando rendimento satisfatório em CH_4 (AWASTHI et al., 2018).

O Brasil tem se comprometido para manter o controle entre as fontes de energias encontradas em quantidades limitadas (tradicionais), e as naturais com capacidade de regeneração (renovável). “O Brasil é um importante agente para produção de energias renováveis, especialmente o biogás, tendo este potencial para a matriz energética brasileira” (STRASSBURG et al., 2014).

O biogás é constituído de vários gases. Mas, o principal deles é o metano (CH_4), que geralmente corresponde a 70% da mistura, e o dióxido de carbono (CO_2), que corresponde a cerca de 30% da mistura (POSSA, 2013). O CH_4 e o CO_2 constituem um importante gás de efeito estufa no planeta (BORBA et al., 2018). A qualidade do gás adquirido na biodigestão anaeróbia, para uso energético depende da quantidade de metano em sua composição. A maioria dos gases constituintes na formação do biogás é o gás hidrogênio (H_2), com concentração podendo variar entre (0 a 1%), o nitrogênio (N), de (0 a 7%), o oxigênio (O), de (0 a 2%), o ácido sulfídrico (H_2S), de (0 a 3%), a amônia (NH_3), de (0 a 3%) (POSSA, 2013).

O CO_2 , H_2S e NH_3 , são classificados como nocivos e impuros, essas substâncias em concentrações elevadas, interferem negativamente na qualidade do biogás (BALDACIN et al., 2015). O CO_2 é uma substância não combustível, que diminui o poder calorífico do biogás, o ácido sulfídrico (H_2S) é um gás incolor, que exala um cheiro desagradável e é corrosivo, torna o biogás corrosivo para materiais metálicos. “Sua concentração depende da quantidade de enxofre presente na matéria orgânica, normalmente alcança níveis menores que 1% da constituição do biogás” (PEREIRA et al., 2018). O gás amônia (NH_3), apesar de ser encontrado em baixas concentrações, torna-se corrosivo na presença de água, principalmente sobre o cobre, ao entrar em combustão, pode emitir óxido de nitrogênio, com consequente efeito a saúde e ao meio ambiente (BALDACIN et al., 2015).

Neste contexto, a digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos, apresenta vantagem na produção de biogás (DI MARIA et al., 2015). É uma maneira sustentável para os problemas energéticos e ambientais. Propensão para recuperar energia a partir da biomassa (AZIZ et al., 2020). É uma opção ambientalmente correta para o gerenciamento dos resíduos sólidos Urbanos (GE et al., 2014) e produção de energia renovável, através do biogás (PAVI et al., 2017).

Diante do exposto, o estudo tem como objetivo analisar em escala laboratorial, a partir do processo de digestão anaeróbia e cromatografia gasosa, o potencial bioquímico de biogás (PBB) e o potencial bioquímico de metano (PBM), dos resíduos sólidos orgânicos de origem doméstica, proveniente do aterro sanitário de Maceió - Brasil.

MATERIAIS E MÉTODOS

O substrato utilizado neste estudo caracteriza-se como resíduos orgânicos de origem domésticos (RSOD), provenientes do aterro sanitário do município de Maceió - AL. O levantamento de dados de gravimetria foi realizado na área de recepção de resíduos do aterro sanitário de Maceió. Inicialmente definiu-se, junto às empresas de coleta, os roteiros dos caminhões que fazem a coleta de lixo em Maceió. Sendo selecionados os bairros dentro da região administrativa-RA, cujos resíduos são coletados pelo mesmo caminhão.

O levantamento de dados gravimétricos foi realizado a partir do método de quarteamento, conforme descrito por Soares (2011). Este método tem como proposta a separação dos materiais de forma mais representativa possível, separando os resíduos em quatro partes e descartando duas partes opostas, até obter-se a amostra representativa. Os resíduos foram quarteados e segregados até obter uma amostra de 3kg, destes foi coletado a amostra para o ensaio de digestão anaeróbia. A etapa de coleta dos substratos requer cuidados, uma vez que, ao coletar amostras para experimentos, deve-se priorizar a sua representatividade. A intenção é, portanto, que elas possuam o maior número possível de características iguais ou muito semelhantes ao sistema do qual foi retirada, a fim de evitar riscos de obtenção de resultados que não expressem a realidade (KUNZ et al., 2004).

O ensaio de digestão anaeróbia foi realizado em batelada no Centro de Pesquisa em Energias e Tecnologias Sustentáveis (CPETS/TECNOVATES) - Universidade do Vale do Taquari – Univates. A produção de biogás foi monitorada no Sistema Automatizado de Medição de Biogás (SAMB), conforme descrito por Konrad et al. (2016). O SAMB é composto por reator de vidro com capacidade de 1 L, coletor de biogás constituído por tubo de vidro em forma de U, sensor óptico, esfera de isopor e circuito eletrônico que registra a passagem do biogás pelo sistema e calcula o volume gerado. O princípio de funcionamento do dispositivo é o deslocamento de fluidos, sendo a quantificação do biogás realizada quando ele, à medida que enche o tubo em forma de U, desloca o fluido nele contido (água) e eleva o nível de fluido no lado oposto, que é detectado por um sensor óptico, o qual envia essa informação a um circuito eletrônico. A definição do volume de biogás gerado se dá por intermédio da equação combinada dos gases ideais, que descreve que a relação entre a temperatura, a pressão e o volume de um gás é constante (HALLIDAY et al., 2009).

Os reatores incubados no sistema foram compostos por 500g de material e mantidos à temperatura mesofílica (35°C). O teste foi realizado em triplicatas, onde uma foi mantida como branco, composta somente por Inoculo (IN), outra como amostra padrão, composta por inoculo e celulose microcristalina (CM), e uma com inoculo e o substrato avaliado, resíduo sólido orgânico doméstico (RSOD). A composição de cada material nos reatores foi seguindo a normativa alemã VDI 4630 – Fermentation of organic materials: Characterisation of the substrate, sampling, collection of material data and fermentation tests -, que estabelece que a relação de sólidos voláteis do substrato e do inoculo seja de 2:1 e o teor de sólidos totais da mistura não deve ser maior que 10%. As análises de sólidos totais e voláteis foram realizadas de acordo a metodologia descrita no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA et al., 1998).

A qualificação do biogás durante o ensaio de biodigestão anaeróbia foi obtida por um sensor específico de medição de metano, denominado Advanced Gasmitter, produzido pela empresa PRONOVA Analysentechnik GmbH & Co e por Cromatografia Gasosa (GC), modelo Clarus 580 GC - ARNL5840 modificado, marca PerkinElmer, equipado com Detector por Condutividade Térmica (TCD) para leitura de CH_4 , CO_2 , H_2 , O_2 e N_2 e Detector Fotométrico de Chama (FPD) para identificação de H_2S . As colunas utilizadas no ensaio foram empacotadas (Hayesep e Peneira Molecular), o gás de arraste utilizado foi argônio e o gás de combustão para o FPD foi o hidrogênio, a temperatura do forno foi de 60 °C e as temperaturas dos detectores foram 250 °C para o TCD e 325 °C para o TCD. O software utilizado foi o Total Chrom & Int LINK. A análise de cromatografia foi realizada no ápice de produção de biogás para a verificação dos constituintes do biogás.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ensaio de Potencial Bioquímico de Biogás (PBB) e Metano (PBM) é um método eficaz para avaliação de um determinado substrato, quanto ao seu potencial de degradação, durante a ação de microrganismos anaeróbios e conversão da matéria orgânica volátil em biogás. Os resultados descritos na Tabela 1, mostra que o resíduo sólido orgânico doméstico apresenta elevado potencial biodegradável devido a sua alta fração orgânica volátil. O pH das três triplicatas estava na faixa neutra, indicada para a digestão anaeróbia. Nas fases iniciais da digestão anaeróbia, as bactérias são responsáveis para produzir os ácidos, e as metanogênicas os consomem, mantendo o meio neutro com pH (6,5 a 8,0) para sua sobrevivência (CASSINI, 2003).

Tabela 1: Composição dos reatores submetidos ao tratamento e caracterização das amostras.

	Composição dos tratamentos		Caracterização das amostras				
	Inoculo (g)	Amostra (g)	ST (%)	SV (%)	SV Inoculo (g)	SV Amostra (g)	pH
IN	500,0	-	6,02 ± 0,0	49,91 ± 0,3	10,02 ± 0,0	--	7.77 ± 0.0
CM	492,3	7,6	96,60 ± 0,3	100,00 ± 0,0	9,86 ± 0,0	7,40 ± 0,0	7.89 ± 0.0
RSOD	468,1	31,9	27,21 ± 1,1	81,03 ± 2,0	9,38 ± 0,0	7,03 ± 0,0	7.68 ± 0.0

Inóculo (IN); Celulose Microcristalina (CM); Resíduo Sólido Orgânico Doméstico (RSOD); Sólidos Totais (ST); Sólidos Voláteis (SV).

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos de produção acumulada e rendimento de biogás e metano, percentual de metano, o PBB e PBM no ensaio de digestão anaeróbia.

Tabela 2: Produção de biogás dos substratos submetido ao tratamento de digestão anaeróbia no período de 17 dias.

Parâmetros	Inoculo	Celulose Microcristalina	Resíduo Sólido Orgânico Doméstico
Volume de Biogás ($\text{L}_{\text{biogás}}$)	0,30 ± 0,05	5,68 ± 0,32	6,03 ± 0,09
Volume de Metano (L_{metano})	0,02 ± 0,00	2,41 ± 0,18	3,08 ± 0,10
CH_4 (%)	8,32 ± 1,54	42,43 ± 1,05	51,10 ± 1,08
PBB ($\text{L}_{\text{biogás}} \cdot \text{kg}_{\text{SV}}^{-1}$)	30,36 ± 5,29	727,70 ± 44,16	817,70 ± 13,43
PBM ($\text{L}_{\text{metano}} \cdot \text{kg}_{\text{SV}}^{-1}$)	2,58 ± 0,85	323,54 ± 24,49	436,04 ± 15,34
Rendimento de Biogás ($\text{L} \cdot \text{kg}_{\text{Biomassa}}^{-1}$)	0,61 ± 0,11	702,99 ± 42,66	180,20 ± 2,96
Rendimento de metano ($\text{L} \cdot \text{kg}_{\text{Biomassa}}^{-1}$)	0,05 ± 0,02	312,56 ± 23,66	96,09 ± 3,38

Para o ensaio de PBB e PBM ser validado, de acordo com a performance do inoculo, o potencial de produção de biogás da celulose microcristalina (CM) deve ser superior a 80% ($600 \text{ mL}_{\text{N}} \cdot \text{g}_{\text{VS}}^{-1}$) do seu potencial teórico estimado, conforme protocolo de PBB. O valor de PBB da celulose microcristalina encontrado neste estudo foi acima de $600 \text{ mL}_{\text{N}} \cdot \text{g}_{\text{VS}}^{-1}$, o que mostra a validação do ensaio de digestão anaeróbia.

Destaca-se que o PBB e volume acumulado de biogás (Figura 1B) do resíduo sólidos orgânico doméstico (RSOD) foi maior que da CM, isso mostra que os microrganismos tiveram facilidade na assimilação deste material, apresentando uma conversão da matéria orgânica em biogás satisfatório. Schirmer et al.

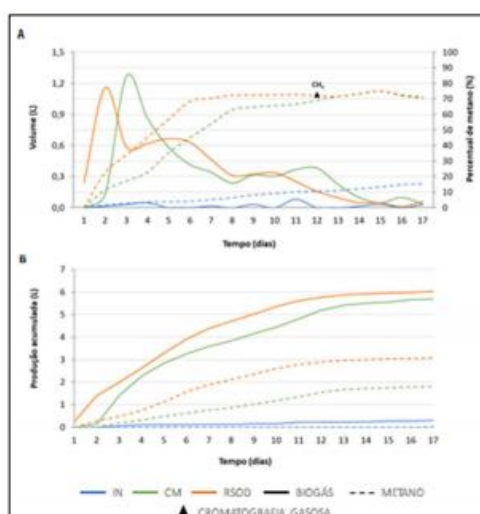
(2014) encontrou valores de volume de biogás de 1.816 mL, PBM de $75 \text{ L}_{\text{METANO}} \cdot \text{kg}_{\text{SV}}^{-1}$ e percentual de metano acumulado de 55% para resíduos orgânicos do aterro municipal de Jaboatão dos Guararapes – Recife – Brasil, valores consideravelmente inferiores aos encontrados neste estudo.

Alibardi et al. (2015) avaliaram o PBM de misturas com diferentes frações orgânicas de Resíduos Sólidos Municipais de uma planta de digestão anaeróbica em Padova, Itália e encontraram valores de PBM de $430 \text{ L}_{\text{METANO}} \cdot \text{kg}_{\text{SV}}^{-1}$ para a Mistura A (2% de carne, queijo e peixe, 27% de fruta, 34% de legumes, 19% de pão-massa, 18% de partículas de materiais indefinidos), $586 \text{ L}_{\text{METANO}} \cdot \text{kg}_{\text{SV}}^{-1}$ para o Mix B (21% de carne, queijo e peixe, 26% de fruta, 33% de legumes, 2% de pão-massa, 18% de partículas de materiais indefinidos) e $490 \text{ L}_{\text{METANO}} \cdot \text{kg}_{\text{SV}}^{-1}$ para o Mix C (7% de carne, queijo e peixe, 26% de fruta, 32% de legumes, 12% de pão-massa, 22% de partículas de materiais indefinidos). Os valores obtidos por Alibardi et al. (2015) na Mistura A e Mix B são semelhantes aos resultados obtidos neste estudo e de acordo com os autores as diferenças nos valores de PBM estão atrelados a composição do resíduo, principalmente devido a presença de carboidratos e lipídeos.

O rendimento de biogás e metano do RSOD foi de 180,20 e $96,09 \text{ L} \cdot \text{kg}_{\text{biomassa}}^{-1}$, considerando que a geração diária deste resíduo é de 500 toneladas pode-se estimar que a produção diária de biogás, a partir dos resultados obtidos neste estudo, poderia ser de aproximadamente $90.100 \text{ m}^3_{\text{BIOGÁS}} \cdot \text{dia}^{-1}$. Estes resultados mostram a importância de utilizar a biodigestão anaeróbia como uma alternativa de destinação destes resíduos, pois além do ganho com o tratamento dos resíduos é possível obter um gás com alto teor calorífico que pode ser aproveitado como energia térmica, elétrica ou combustível veicular.

Os valores de metano apresentados na Tabela 2 expõem o acumulado durante o período do experimento. Na Figura 1A, verifica-se que o percentual de metano chegou a 75% e o valor máximo diário da produção de biogás ocorreu no segundo dia de incubação ($1,2 \text{ L}_{\text{BIOGÁS}}$). Do 3º ao 6º dia, a produção manteve-se estável ($0,60$ a $0,62 \text{ L}_{\text{BIOGÁS}}$), diminuindo gradualmente, até o 17º dia.

A composição do biogás no 12º dia de incubação foi composta por dióxido de carbono – CO_2 ($19,25 \pm 1,18 \%$), oxigênio – O_2 ($1,96 \pm 0,38 \%$), nitrogênio – N_2 ($6,00 \pm 0,59 \%$), metano – CH_4 ($72,78 \pm 0,67 \%$) e gás sulfídrico – H_2S ($418,23 \pm 151,73 \text{ ppm}$). O CH_4 e o CO_2 foram os gases com maior concentração na composição do biogás. Na Figura 1A, é possível identificar os percentuais diários de metano lidos pelo sensor específico de metano. Observando estes valores e comparando com a cromatografia gasosa, verifica-se que o percentual de metano lido pelo sensor no 12º dia de incubação foi igual (aproximadamente 72 %) ao resultado obtido na cromatografia gasosa. Segundo Possa (2013), a variação de O_2 , H_2 , H_2S e N_2 na composição do biogás pode ser de 0 a 2% (O_2), 0 a 1% (H_2), 0 a 3% (H_2S) e de 0 a 7% (N_2).



Inoculo (IN); Celulose Microcristalina (CM); Resíduo Sólido Orgânico Doméstico (RSDO).
Figura 1: Produção de biogás e metano diária do resíduo sólido orgânico doméstico.

Os percentuais de metano no 4º e 5º dia foi de 46% e 57% respectivamente, do 7º ao 14º dia variou entre 70% a 73%, no 15º dia obteve-se o percentual máximo de metano 75%, reduzindo a 70% até o 17º dia, atingindo uma média de 60% no período de experimento. Portanto, outros estudos que avaliaram o percentual de metano de resíduos sólidos urbanos encontraram percentuais de metano abaixo de 70%, conforme descrito na Tabela 3.

Tabela 3: Ensaios de digestão anaeróbia de diferentes resíduos orgânicos.

Referência	Resíduos	Metano %
Lin et al. (2011)	Resíduos de frutas e vegetais e desperdício de alimentos	Entre 53,7% e 63,8%
Zhang et al. (2013)	Resíduos alimentares e esterco bovino	41%
Borowski (2015)	Resíduos sólidos urbanos e lodo de esgoto	Entre 58% e 66%
Ghosh et al. (2020)	Resíduos sólidos e lodo de esgoto	69,5%

Nos trabalhos de Lin et al. (2011) e Zhang et al. (2013) resíduos de frutas e desperdícios alimentares e resíduos alimentares e esterco bovino, respectivamente, a concentração de CH_4 , ficou entre 53,7% a 63,8% e 41%, respectivamente. Já nos trabalhos realizados por Borowski (2015) e Ghosh et al. (2020), com valores 58% a 66% e 69,5%, respectivamente. Evidencia-se que, apenas o trabalho de Zhang et al. (2013), obteve média de CH_4 , inferior, em relação a composição média de metano no biogás que é de 50% a 75% de CH_4 (IANNICELLI, 2008).

O biogás possui característica satisfatória como aproveitamento energético quando apresenta uma concentração média de 50% a 75% de CH_4 , e de 25% a 40% de CO_2 , pois na proporção de metano de aproximadamente 60% seu poder calorífico é cerca de 5.500 kcal/m³ (IANNICELLI, 2008). Portanto, a concentração máxima de CH_4 (>70 %) dos resíduos sólidos orgânicos de origem doméstica encontrada neste estudo, são satisfatórias para uso como fonte de energia renovável, uma vez que quanto maior a concentração de CH_4 , maior é o poder calorífico (LIMA, 2005).

CONCLUSÕES

Os resultados de Potencial Bioquímico de Biogás e Metano dos resíduos sólidos orgânicos domésticos (resíduos novos-RN) mostraram que este material é de fácil assimilação pelos microrganismos envolvidos no processo de digestão anaeróbia e que possuem um elevado potencial energético. A eficiência da geração de metano no estudo foi semelhante a estudos anteriores, atingindo uma média 60% de metano com percentual máximo de 75%, este valor mostra que o resíduo sólido orgânico doméstico apresenta um potencial energético satisfatório para aproveitamento energético.

Os dados obtidos de potencial dos resíduos sólidos orgânicos domésticos de Maceió/AL podem servir como orientação para o desenvolvimento de projetos de biodigestores. Portanto, há necessidade de realizar novos ensaios de digestão anaeróbia em diferentes períodos do ano para obter um levantamento de dados mais completo, visto que estes resíduos apresentam elevada variedade, principalmente por ser uma região turística.

REFERÊNCIAS

- ABAD, V.; AVILA, R.; VICENT, T.; FONT, X.. Promoting circular economy in the surroundings of an organic fraction of municipal solid waste anaerobic digestion treatment plant: Biogas production impact and economic factors. **Bioresource Technology**, v.283, p.10-17, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.03.064>
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20 ed. Washington, 1998.
- AWASTHI, S. K.; JOSHI, R.; DHAR, H.; VERMA, S.; AWASTHI, M. K.; VARJANI, S.; SARSAIYA, S.; ZHANG, Z.; KUMAR, S.. Improving methane yield and quality via co-digestion of cow dung mixed with food waste. **Bioresource Technology**, v.251, p.259-263, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.12.063>
- AZIZ, N. I. H. A.; HANAFIAH, M. M.. Life cycle analysis of biogas production from anaerobic digestion of palm oil mill effluente. **Renewable Energy**, v.145, p.847-857, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.084>
- BALDACIN, A. C. S.; PINTO, G. M. F.. Biodigestão anaeróbia da vinhaça: aproveitamento energético do biogás. **Revista Eletrônica FACP**, São Paulo, v.3, n.7, 2015.
- BALDÉ, H.; VANDERZAAG, A. C.; BURTT, S. D.; WAGNER-RIDDLE, C.; CROLLA, A.; DESJARDINS, R. L.; MACDONALD, D. J.. Methane emissions from digestate at an agricultural biogas plant. **Bioresource Technology**, v.216, n.9, p.914-922, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.06.031>
- BORBA, P. F. S.; MARTINS, E. M.; CORREA, S. M.; RITTER, E.. Emissão de gases do efeito estufa de um aterro sanitário no Rio de Janeiro. **Eng. Sanit. Ambient.**, v.23, n.1, p.101-111, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018167438>
- BOROWSKI, S.. Co-digestion of the hydromechanically separated organic fraction of municipal solid waste with sewage sludge. **Journal of Environmental Management**, v. 147, p.87-94, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.09.013>
- CASSINI, T. S.. **Digestão de Resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**. Rio de Janeiro: ABES, 2003.
- ALIBARDI, L.; COSSU, R.. Composition variability of the organic fraction of municipal solid waste and effects on hydrogen and methane production potentials. **Waste Manag**, v.36, p.147-155, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.11.019>
- APHA; AWWA; WEF. American Public Health Association; American Water Works Association; World Economic Forum.
- HASAN, C.; FEITOSA, A. K.; SILVA, M. C. A.; MARDER, M.; KONRAD, O.. Produção de biogás a partir de resíduos agroindustriais: análise dos teores de sólidos totais, voláteis e fixos em amostras pré e pós-digestão anaeróbia. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.8, n.1, p.257-273, 2019.
- IANNICELLI, A. L.. **Reaproveitamento energético do biogás de uma indústria cervejeira**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Taubaté, São Paulo, 2008.
- KONRAD, O.; AKWA, J. V.; KOCH, F. F.; LUMI, M.; TONETTO, J. F.. Quantification and characterization of the production of biogas from blends of agro-industrial wastes in a large-scale demonstration plant. **Acta Scientiarum Technology**, v.38, n.4, p.415-421, 2016. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v38i4.28649>
- KONRAD, O.; BEZAMA, A. B.; PRADES, T.; BACKES, G. M.; OECHSNER, H.. Enhancing the analytical capacity for biogas development in brazil: assessment of an original measurement system for low. **Engenharia Agrícola**, v.36, p.792-798, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n5p792-798/2016>
- KUNZ, A.; PALHARES, J. C. P.. **A importância do correto procedimento de amostragem para avaliação das características dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA, 2004.
- LIMA, F. P.. **Energia no tratamento de esgoto: análise tecnológica e institucional para conservação de energia e uso do biogás**. São Paulo: USP, 2005.
- LIN, J.; ZUO, J.; GAN, L.; LI, P.; LIU, F.; WANG, K.; GAN, H.. Effects of mixture ratio on anaerobic co-digestion with fruit and vegetable waste and food waste of China. **Journal of Environmental Sciences**, v.23, p.1403-1408, 2011. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(10\)60572-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(10)60572-4)

- DI MARIA, F.; SORDI, A.; CIRULLI, G.; MICALE, C.. Amount of energy recoverable from an existing sludge digester with the co-digestion with fruit and vegetable waste at reduced retention time. **Applied Energy**, v.150, p.9-14, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.146>
- GE, X.; MATSUMOTO, T.; KEITH, L.; LI, Y.. Biogas energy production from tropical biomass wastes by anaerobic digestion. **Bioresour Technol**, v.169, p.38-44, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.06.067>
- GHOSH, M. K.; KAPOOR, R.; KUMAR, S. S.; SINGH, L.; VIJAY, V.; VIJAY, V. K.; KUMAR, V.; THAKUR, I. S.. Enhanced biogas production from municipal solid waste via co-digestion with sewage sludge and metabolic pathway analysis. **Bioresource Technology**, v.296, n.122275, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122275>
- GUERINI FILHO, M.; LUMI, M.; HASAN, C.; MARDER, M.; LEITE, L. C. S.; KONRAD, O.. Energy recovery from wine sector wastes: A study about the biogas generation potential in a vineyard from Rio Grande do Sul, Brazil. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v.29, p.44-49, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2018.06.006>
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J.. **Fundamentos de Física 2**. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- SCHIRMER, W. N.; JUCÁ, J. F. T.; SCHULER, A. R. P.; HOLANDA, S.; JESUS, L. L.. Methane production in anaerobic digestion of organic waste from Recife (Brazil) landfill: Evaluation in refuse of different ages. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v.31, n.2, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20140312s00002468>
- SLORACH, P. C.; JESWANI, H. K.; CUÉLLAR-FRANCA, R.; AZAPAGIC, A.. Environmental sustainability of anaerobic digestion of household food waste. **Journal of Environmental Management**, v.236, p.798-814, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.001>
- SOARES, E. L. S. F.. **Estudo da Caracterização Gravimétrica e Poder Calorífico dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Dissertação
- MALAGGI, M.; SOUZA, S. N. M.. Estimativa do Potencial de produção de biogás e energia da indústria de abate de frangos no Brasil. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.3, p.151-162, 2014.
- PAVI, S.; KRAMER, L. E.; GOMES, L. P.; MIRANDA, L. A. S.. Biogas production from co-digestion of organic fraction of municipal solid waste and fruit and vegetable waste. **Bioresource Technology**, v.228, p.362-367, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.01.003>
- PEREIRA, L. C.; BALBINO, M. V.; VIANA, L. S.; FARIAS, N. S. N.; XAVIER, M. R. R.; RAMOS, W. Q. R.; CORREIO, J. A. C.. Estudo comparativo de biogás produzido com resíduos animais. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.7, n.4, p.406-422, 2018.
- PERS. Plano Estadual de Resíduos Sólidos. **Alagoas: Volume I, Tomo II**. PERS, 2016.
- POSSA, R. D.. **Tecnologia alternativa para purificação do metano contido no biogás proveniente da digestão anaeróbica de dejetos de suínos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2013.
- (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- STRASSBURG, U.; OLIVEIRA, N. M.; ROCHA JUNIOR, W. F.. Cadeia do biogás no Oeste do Paraná: à luz da nova economia institucional. In: **SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL**, 52. **Anais**. Goiânia, 2014.
- ZHANG, C.; XIAO, G.; PENG, L.; SU, H.; TAN, T.. The anaerobic co-digestion of food waste and cattle manure. **Bioresource Technology**, v.129, p.170-176, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.10.138>

5 ARTIGO 4

SILVA, C. O.; KONRAD, O.; CALLADO, N. H.; MARDER, M.; ARAUJO, L. G. S. Geração quantitativa e qualitativa da emissão de biogás no aterro sanitário de Maceió. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v.11, n.5, p.401-408, 2020d.

Artigo publicado na Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais (RICA) – ISSN 2179-6858. O periódico possui estrato superior em Ciências Ambientais, na classificação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

	<p>Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais <i>Ibero-American Journal of Environmental Sciences</i></p> <p>Ago a Set 2020 - v.11 - n.5</p>	 <p>ISSN: 2179-6858</p> <p>This article is also available online at: www.sustenere.co</p>
---	--	---

Geração quantitativa e qualitativa da emissão de biogás no aterro sanitário de Maceió

Os aterros sanitários ainda são a opção mais utilizada para a destinação final de resíduos sólidos urbanos (RSU). Uma estrutura bem planejada e controlada com sistemas de drenagem, tratamento de lixiviados e sistemas para coleta e queima do biogás, são essenciais para evitar a emissão de metano na atmosfera. Neste sentido, o presente estudo buscou avaliar a vazão e a qualidade do biogás do aterro sanitário de Maceió/AL. A leitura da vazão do biogás no aterro sanitário foi realizada em 15 drenos verticais (poços) e a qualificação do biogás foi realizada por cromatografia gasosa. O estudo mostrou que a vazão do biogás é diferente nos drenos e que o biogás possui composição satisfatória (56,86% de metano) para aproveitamento energético. A diferença na vazão dos drenos pode estar associada as fissuras do aterro sanitário, o que mostra que a implantação e adaptação dos drenos verticais e o sistema de cobertura do aterro sanitário, são elementos importantes e que devem ser considerados na quantificação e qualificação da vazão de gás no aterro sanitário. Deste modo, o presente estudo contribui na estimativa da qualidade e a quantidade de CH₄, através de drenos verticais em aterro sanitário.

Palavras-chave: Resíduos sólidos domésticos; Drenos verticais; Emissões de biogás; Fontes renováveis.

Quantitative and qualitative generation of biogas emission in Maceió's landfill

Landfills are still the most used option for the final disposal of solid urban waste (MSW). A well-planned and controlled structure with drainage systems, leachate treatment and systems for collecting and burning biogas are essential to avoid the emission of methane into the atmosphere. In this sense, the present study sought to evaluate the flow and quality of biogas from the landfill in Maceió/AL. The reading of the biogas flow in the landfill was performed in 15 vertical drains (wells) and the biogas qualification was performed by gas chromatography. The study showed that the flow of biogas is different in the drains and that the biogas has a satisfactory composition (56.86% methane) for energy use. The difference in the flow of the drains may be associated with cracks in the landfill, which shows that the implementation and adaptation of vertical drains and the landfill cover system are important elements that must be considered in the quantification and qualification of the flow of gas in the landfill. In this way, the present study contributes to the estimation of the quality and quantity of CH₄, through vertical drains in a landfill.


Keywords: Domestic solid wastes; Vertical drains; Biogas emissions; Renewable sources.

Topic: **Sistemas de Energia Sustentável**


Received: **02/08/2020**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Approved: **19/09/2020**

Claudionor de Oliveira Silva 
Universidade do Vale do Taquari, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7914499903341694>
<http://orcid.org/0000-0002-6566-0451>
claudionor.silva@univates.br

Odorico Konrad 
Universidade do Vale do Taquari, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9946679953072196>
<http://orcid.org/0000-0002-6968-7969>
okonrad@univates.br

Nélia Henriques Callado 
Universidade Federal de Alagoas, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8042175776163111>
<http://orcid.org/0000-0002-2393-555X>
nelia.callado@yahoo.com.br

Munique Marder 
Universidade do Vale do Taquari, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6070031909886243>
<http://orcid.org/0000-0002-1388-4306>
mmarder@univates.br

Liz Geise Santos de Araújo 
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4373479527873700>
<http://orcid.org/0000-0003-0196-7064>
lizaraujoeng@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2020.005.0037

Referencing this:

SILVA, C. O.; KONRAD, O.; CALLADO, N. H.; MARDER, M.; ARAÚJO, L. G. S.. Geração quantitativa e qualitativa da emissão de biogás no aterro sanitário de Maceió. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.11, n.5, p.401-408, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.005.0037>

INTRODUÇÃO

Uma das alternativas consideradas ambientalmente adequada para disposição de resíduos sólidos urbanos é o aterro sanitário (BRASIL, 2010). A estrutura de um aterro sanitário exige cuidados especiais para reduzir os impactos ambientais. A construção de um aterro sanitário deve conter tratamento de gases e lixiviados, drenagem superficial de águas pluviais, impermeabilização da fundação e camada de cobertura diária dos resíduos (ABNT 1984; 1997; 2010). A decomposição dos resíduos sólidos exige um controle ambiental dos lixiviados (chorume), que são coletados por meio de drenos e tratados em lagoas anaeróbias, e do biogás, que é queimado ou coletado para aproveitamento energético (FELICORI et al., 2016).

O biogás tornou-se uma das fontes renováveis mais importantes nas últimas décadas (SCHNEIDER et al., 2020). Sua composição é formada por uma mistura de dois principais gases de efeito estufa: metano (CH₄), que consiste em cerca de 55-75 % do volume, e dióxido de carbono (CO₂), composto por cerca de 25-45% do volume (OGUNJUYIGBE et al., 2017), e outros gases como: o gás hidrogênio (H₂), com concentração podendo variar entre 0 a 1%, o nitrogênio (N), de 0 a 7%, o oxigênio (O), de 0 a 2%, o ácido sulfídrico (H₂S), de 0 a 3%, a amônia (NH₃), de 0 a 3% (POSSA, 2013). Os percentuais dos gases que compõem o biogás podem variar conforme o tempo de existência do aterro (PIÑAS et al., 2016).

Os aterros sanitários podem utilizar o biogás para a geração de se o monitoramento adequado for explorado em tempo e, uma vez que a geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos apresenta maior potencial em comparação aos resíduos agrícolas e florestais (VILLANUEVA-ESTRADA et al., 2019).

Vários fatores podem interferir na qualidade da composição do biogás em aterros sanitários. Maciel (2003), aponta, entre eles a parcela de material orgânico entre os resíduos sólidos domésticos, a forma de operação do aterro e o clima da região. É necessário o conhecimento das quantidades orgânicas e inorgânicas dos resíduos; a forma da disposição nas células, com vistas a compactação pretendida; projeção das linhas de exaustão dos gases e drenagens das águas pluviais e chorume; contenção e impermeabilização do conjunto; e melhoria do processo biológico, com reciclagem dos líquidos (SILVA et al., 2009).

Em termos quantitativos de geração de biogás em aterros sanitários, Maciel (2003), destaca que aponta que, a “estimativas experimentais de permissão de biogás pela camada de cobertura de um aterro e por drenos verticais por ventura existentes estão relacionadas com a forma de operação do aterro ao longo dos anos”. Maciel (2003), ainda revela vários fatores que podem interferir na quantidade de biogás nos aterros sanitários, quando não bem dimensionados. Fatores como: profundidade e quantidade de drenos de gases, espessura das camadas de cobertura e dimensões das células, influenciam nas rotas do biogás no interior da massa de lixo e, conseqüentemente nos pontos de fuga de gás para a superfície.

A forma mais simples de coletar gases do aterro é através da extração do biogás por meio de drenos verticais (NECKER et al., 2017). O biogás provindo dos aterros sanitários propicia o surgimento de uma fonte de energia renovável e alternativa relacionada ao destino adequado dos resíduos sólidos no que se trata do seu tratamento e reaproveitamento. O biogás gerado nos aterros sanitários pode ser empregado como, combustível nas caldeiras, produção de energia através de motores e microturbinas e purificado para uso veicular e ainda há possibilidade de ganhos com a venda de créditos de carbono, para isso um projeto também deverá ser feito junto com um estudo mais completo para a verificação da possibilidade de ser executável economicamente para esse fim (NECKER et al., 2017).

Segundo Audibert et al. (2012), não existe unanimidade na literatura com relação ao melhor método para avaliação dos gases nos drenos dos aterros sanitários, principalmente pelas diversidades de formas de operação dos locais onde os aterros se posicionam. No entanto, se há possibilidade de utilizar os drenos de gás do aterro sanitário para a leitura de vazão, então esta medida deve ser concretizada para identificar um possível reaproveitamento do biogás como energia” (BORGES et al., 2016).

Nesse estudo foram realizadas as medições de vazões e determinação da composição do biogás nos drenos verticais emitido pelo aterro sanitário de Maceió, cidade localizada no litoral de Alagoas. Para esse fim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a vazão e a qualidade do biogás do aterro sanitário de Maceió/AL.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado no aterro sanitário CTR-Maceió. O aterro ocupa uma área de 84 (ha), sendo formado por um sistema de impermeabilização de base, composto por solo siltoso compactado, argila compactada, geomembrana de PEAD, geotêxtil e camada drenante. Os resíduos recebidos são compactados e recobertos com uma camada de solo. O lixiviado (chorume) e o biogás produzidos são armazenados em lagoas de contenção e queimados em *flares* (130 drenos), respectivamente.

Atualmente, recebe diariamente cerca de 500 toneladas de resíduos sólidos orgânicos (RSU/dia). Sua vida útil foi dimensionada para o total de 20 anos, pois possui 4 fases de operação. A fase I já foi encerrada em 2017, objeto de estudo. Foi realizada a verificação das instalações do aterro para que as condições de conservação dos drenos de saída de gás possam ser detalhadamente analisadas. Os pontos definidos para

medição de biogás nos drenos foram mapeados com o auxílio de um GPS (Global Positioning System) do modelo GPSMAP 64, fabricado pela empresa Garmin. O mapeamento identificará as coordenadas geográficas, indicando 9 pontos, para medições de vazão e coleta de biogás (figura1).



Figura 1: Pontos para medição de gás no aterro sanitário. **Fonte:** Google Earth (2020).

Inspeção do biogás no aterro

Para a medição do biogás foi utilizado os seguintes equipamentos: (i) analisador de gás portátil, da marca Biogás 5000, para medição de temperatura, pressão e composição do biogás - CH_4 , CO_2 , O_2 e H_2S ; e (ii) anemômetro, da marca Geotech, utilizado para medir a vazão do biogás nos drenos verticais. O biogás coletado foi analisado por meio da Cromatografia Gasosa (GC), modelo Clarus 580 GC - ARNL5840 modificado, marca PerkinElmer, equipado com Detector por Condutividade Térmica (TCD) para leitura de CH_4 , CO_2 , H_2 , O_2 e N_2 e Detector Fotométrico de Chama (FPD) para identificação de H_2S . As colunas utilizadas no ensaio foram empacotadas (Hayesep e Peneira Molecular), o gás de arraste utilizado foi argônio e o gás de combustão para o FPD foi o hidrogênio, a temperatura do forno foi de 60°C e as temperaturas dos detectores foram 250°C para o TCD e 325°C para o TCD. O software utilizado foi o Total Chrom & Int. LINK.

A leitura da vazão do biogás foi realizada por procedimento adaptativo, utilizando-se um tubo de PVC 100 mm, de 1m de comprimento e diâmetro 9,7 cm (área de seção de passagem do fluido), com um furo, introduzindo-se no dreno de gás. A vazão efetiva de biogás foi obtida multiplicando-se a velocidade do biogás pela seção (área) da peça. As medições de vazão foram realizadas de acordo com a equação (1) (MILLS et al., 1993).

$$Q = (V \times A) \times \frac{273,15}{273,15 + T} \times P \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo:

Q: vazão de biogás (Nm^3/s)

V: velocidade de saída do biogás (m/s)

A: área da seção de passagem do fluido (m^2)

T: temperatura de saída do biogás ($^\circ\text{C}$)

P: pressão atmosférica (bar)

A coleta do biogás foi realizada em uma adaptação de um tubo de PVC introduzida ao dreno vertical de gás. A adaptação foi estruturada com uma tampa (para fechar uma das extremidades do tubo), uma torneira de passagem, uma válvula e uma mangueira de silicone ligado ao bag (figura 2).



Figura 2: Coleta de gás nos drenos verticais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição do biogás, obtida a partir da cromatografia gasosa, das amostras coletadas nos drenos verticais do aterro sanitário foi 56,86 % de CH_4 , 41,72 % de CO_2 , 0,22 % de O_2 , 0,00 % de H_2 e 1,20 de N_2 (tabela 1). O valor de CH_4 é semelhante aos valores encontrados por Candiani et al. (2015), que verificaram concentração de 58,7% de CH_4 no aterro de Caieiras-SP; Maciel et al. (2011), que apuraram concentração entre 24 e 57 % de CH_4 no aterro sanitário de Muribeca, Recife-PE; Moreira (2018), que encontraram concentração entre 52,2 a 63,9 % de CH_4 no aterro sanitário de Campina Grande-PB.

Tabela 1: Composição do biogás no aterro sanitário de Maceió (%).

Componentes	Teor dos gases (%)
CH_4	56,86
CO_2	41,72
O_2	0,22
H_2	0,00
N_2	1,20

Tchobanoglous et al. (1993), apresentam na tabela 2, a composição do biogás típica produzida a partir da decomposição de resíduos orgânicos nos aterros sanitários. Os valores da composição do biogás do aterro sanitário de Maceió/AL estavam na faixa apresentada pelos autores.

Tabela 2: Composição de biogás de aterro sanitário.

Composição do biogás	Teor dos gases (%)
Metano	45 – 60
Dióxido de carbono	40 – 60
Nitrogênio	2,0 - 5,0
Oxigênio	0,1 - 1,0
Enxofre	0 - 1,0
Amônia	0 - 0,2
Hidrogênio	0 - 0,2
Monóxido de carbono	0 - 0,2
Gases em menor concentração	0,01 - 0,6

Fonte: Adaptado de Tchobanoglous et al. (1993).

A vazão média de biogás considerado os drenos verticais monitorados no aterro foi de $912,45 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.¹ A vazão total de CH_4 foi de $518,82 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. A vazão média de biogás por dreno foi de $13,44 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. A vazão média de CH_4 por dreno vertical foi de $7,4 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (tabela 3). No estudo realizado por Candiani et al. (2015) onde o monitoramento do biogás do aterro sanitário caieiras foi avaliado, encontrou-se a vazão total de biogás de $1.659 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, a vazão total de gás metano de $999,9 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, a vazão média de biogás por dreno vertical de $20,5 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ e a vazão média de gás metano por dreno vertical de $12,34 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Tabela 3: Vazões de biogás e gás metano dos drenos verticais no aterro sanitário de Maceió

Monitoramento	Vazão (Nm ³ .h ⁻¹)
Vazão total de biogás	912,45
Vazão total de gás metano	518,82
Vazão média de biogás por dreno	13,44
Vazão média de gás metano por dreno	7,4

Outros estudos apresentaram variações na emissão de metano nos drenos verticais (tabela 4). Além do monitoramento de biogás e metano, este estudo possibilitou a observação da situação estrutural do aterro sanitário de Maceió. Em campo, verificou-se aspectos operacionais como corrosão nos drenos verticais e fissuras na camada de cobertura que podem estar causando a deterioração dos drenos e fuga do biogás, influenciando na vazão de biogás ao longo do sistema de drenagens dos drenos.

Tabela 4: Vazão de biogás nos drenos verticais obtido em diferentes estudos

Autores	Vazão média de biogás por dreno (Nm ³ .h ⁻¹)	Vazão média de gás metano por dreno (Nm ³ .h ⁻¹)
Candiani et al. (2015)	20,34	12,34
Silva et al. (2013)	-	7,15
Audíber et al. (2012)	-	13,10
Maciel et al. (2011)	58,40	28,80
Silva et al. (2008)	81,99	-
Ensinas (2003)	15,56	8,78

Considerando a vazão média de biogás nos drenos (13,44 Nm³.h⁻¹) e CH₄ (7,4 Nm³.h⁻¹), por dreno vertical obtida neste estudo e o número de drenos verticais do aterro (130), estima-se que o aterro sanitário de Maceió (área do estudo), esteja produzindo cerca de 1.747Nm³.h⁻¹ de biogás e aproximadamente 962 Nm³.h⁻¹, de CH₄.

As observações obtidas dos métodos operacionais do aterro sanitário de Maceió podem explicar as variações da vazão de biogás nos drenos. Segundo Mariano et al. (2010) as variações na emissão de metano podem ocorrer devidos alguns aspectos na camada de cobertura do aterro (característica do solo, espessura e grau de compactação), além de ser influenciadas pelo tempo de disposição dos resíduos, pelas características geotécnicas e pelos aspectos climáticos. Ainda, ressalta-se que o aterro sanitário recebe resíduo constantemente e isso movimenta as redes de tubulações de biogás, influenciando na produção de biogás nos drenos verticais do aterro sanitário.

Afere-se que, o biogás que escapa pela superfície esteja escoando pelas fissuras na camada de cobertura. A figura 3 mostra uma destas fissuras no aterro sanitário de Maceió. Outra via para possíveis vazamentos de biogás são os drenos com fissuras (pode estar escapando por alguma rachadura), e corrosão (saída de biogás por alguns furos no sistema de drenagens), no aterro sanitário. Estudos revelam uma perda significativa pela superfície dos aterros sanitários: Maciel et al. (2011), encontraram 22%, de gás fugitivas, estudando o aterro sanitário de aguazinha, no Estado de Pernambuco, Brasil; Candiani et al. (2017) obtiveram 31,4%, estudando o aterro sanitário de caieiras no município de Caieiras, SP; Silva et al. (2013), encontraram 16% e 35%, estudando o aterro sanitário bandeirante e Caieiras, SP, respectivamente.

**Figura 3:** Fissura presente no aterro sanitário de Maceió.

sanitário. Uma vez que a corrosão nos drenos pode causar a saída de biogás pelo sistema de drenagem no aterro sanitário por furos nas tubulações e as fissuras na cobertura do aterro podem causar o escape de gás na superfície do aterro

CONCLUSÕES

O biogás gerado no aterro sanitário de Maceió/AL com resíduos sólidos domésticos apresenta características satisfatórias de volume e qualidade para o aproveitamento energético. As leituras avaliadas nos drenos verticais do aterro são eficientes para analisar a quantidade e a qualidade de biogás no aterro sanitário. O valor de CH_4 , nos drenos verticais do aterro sanitário foi 56,86%, este valor é semelhante a outros estudos, e está dentro da faixa de composição do biogás típica produzida a partir da decomposição de resíduos orgânicos nos aterros sanitários. A vazão média de biogás por dreno foi de $13,44 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ e a vazão média de CH_4 por dreno vertical foi de $7,40 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Cabe ressaltar que existe uma variabilidade nos valores dessas duas médias em diversos estudos.

Os resultados mostraram que a vazão do biogás depende dos procedimentos de operação do aterro sanitário. A implantação e adaptação dos drenos verticais e o sistema de cobertura do aterro sanitário, são elementos essenciais, que deve ser levado em consideração na quantificação e qualificação da vazão de gás no aterro sanitário.

Os dados obtidos da vazão de gás do aterro sanitário de Maceió/AL podem servir como orientação para o desenvolvimento de procedimentos quanto à operação de aterros sanitários. No entanto, mais estudos são necessários para realizar novos testes em diversos períodos para obter resultados mais completos, visto que os aterros sanitários apresentarem variedade no sistema de operação.

AGRADECIMENTOS: À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 06508**: Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm: determinação de massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13.896**: aterros de resíduos não perigosos: critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15849**: Resíduos sólidos urbanos: Aterros sanitários de pequeno porte: Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

AUDIBERT, J. L.; FERNANDES, F.. Avaliação qualitativa e quantitativa da emissão de biogás em aterro controlado de médio porte. *Revista DAE*, n.190, 2012. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.094>

BORGES, T. M.; VIMIEIRO, G. V.; CATAPRETA, C. A. A.. Guia para monitoramento ambiental em aterros sanitários. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL CAMPINA GRANDE/PB, 7. *Anais*. IBEAS - Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2016.

BRASIL. **Lei n. 12.305 de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília: DOI, 2010.

CANDIANI, G.; TORRES, D. C.. Análise qualitativa e quantitativa da produção de biogás em aterro sanitário. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, Aquidabã, v.6, n.1, p.285-292, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.6008/SPC21796858.2015.001.0022>

CANDIANI, G.; VIANA, E.. Emissões fugitivas de metano em aterros sanitários. *Geosp: Espaço e Tempo*, v.21, n.3, p.845-857, 2017. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2017.97398>

ENSINAS, A. V.. **Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas (SP)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

FELICORI, T. C.; MARQUES, E. A. G.; SILVA, T. Q.; PORTO, B. B.; BRAVIN, T. C.; SANTOS, K. M. C.. Identificação de áreas adequadas para a construção de aterros sanitários e usinas de triagem e compostagem na mesorregião da Zona da Mata, Minas Gerais. *Eng. Sanit. Ambient*, v.21, n.3, p. 547-560, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522016146258>

MACIEL, F. J.. **Estudo da geração, percolação e emissão de gases no aterro de resíduos sólidos da Muribeca/PE**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

MACIEL, F. J.; JUCÁ, J. F.. Evaluation of landfill gas production and emissions in a MSW large-scale Experimental Cell in Brazil. *Waste Management*, v.31, n.5, p.966-977, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.01.030>

MACIEL, F. J.; JUCÁ, J. F. T.; CODECEIRA NETO, A.. Avaliação do projeto piloto de recuperação de biogás no aterro da Muribeca/PE. In: CONGRESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA, 6; SEMINÁRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SETOR ELÉTRICO, 2. *Anais*. Fortaleza, 2011.

MARIANO, M. O. H.; JUCÁ, J. F. T.. Ensaios de campo para determinação de emissões de biogás em camadas de cobertura de aterros de resíduos sólidos. *Eng. Sanit. Ambient*, v.15, n.3, p.223-228, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522010000300004>

MILLS, I.; CVITAS, T.; HOMANN, K.; KALLAY, N.; KUCHITSU, K.. **Quantities, units and symbols in physical chemistry**. Oxford: Blackwell Science Publications, 1993.

MOREIRA, F. G. S.. **Emissões fugitivas de biogás em célula de aterro sanitário**. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, 2018.

NECKER, H. S.; CÂMARA, P. T.. Estimativa Teórica da Geração de Biogás em Aterros Sanitários. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, v.2, n.16, p.356-363, 2017.

OGUNJUYIGBE, A. S. O.; AYODELE, T. R.; ALAO, M. A.. Electricity generation from municipal solid waste in some selected cities of Nigeria: an assessment of feasibility,

potential and technologies Renew. *Sustain. Energy Rev.*, v.80, p.149-162, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.icslepro.2018.08.282>

PIÑAS, J. A. V.; VENTURINI, O. J.; LORA, E. E. S.; OLIVEIRA, M. A.; ROALCABA, O. D. C.. Aterros sanitários para geração de energia elétrica a partir da produção de biogás no Brasil: comparação dos modelos LandGEM (EPA) e Biogás (Cetesb). *R. bras. Est. Pop.*, Rio de Janeiro, v.33, n.1, p.175-188, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.20947/S0102-309820160009>

POSSA, R. D.. **Tecnologia alternativa para purificação do metano contido no biogás proveniente da digestão anaeróbica de dejetos de suínos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2013.

SCHNEIDER, N.; GERBER, M.. Rheological properties of digestate from agricultural biogas plants: An overview of measurement techniques and influencing factors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.121, p.109709, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109709>

SILVA, C. L.; RABELO, J. M. O.; RAMAZZOTTE, V. C. B.; ROSSI, L. F. S.; ALBERTO, H.. La cadena del biogás y la sustentabilidad local: Un análisis socioeconómico y ambiental de la energía de los residuos sólidos urbanos del relleno de Caximba en Curitiba Bollamann. *Innovar*, v.19, n.34, p.83-98, 2009.

SILVA, T. N.; CAMPOS, L. M. S.. Avaliação da produção e qualidade do gás de aterro para energia no aterro sanitário dos bandeirantes/SP. *Eng. Sanit. Ambient*, v.13, n.1, p.88-96, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522008000100012>

SILVA, T. N.; FREITAS, F. S. N.; CANDIANI, G.. Avaliação das emissões superficiais do gás de aterros sanitários de grande porte. *Eng. Sanit. Ambient*, v.18 n.2, p.95-104, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522013000200001>

TCHOBANOGLOUS, G.; THEISEN, H.; VINIL, S.. **Integrated Solid Waste Management: Engineering principles and management issues**. Washington: McGraw-Hill, 1993.

VILLANUEVA-ESTRADA, R. E.; ROCHA-MILLER, R.; ARVIZU-FERNÁNDEZ, J. L.; GONZÁLEZ, A. C.. Energy production from biogas in a closed landfill: A case study of Prados de la Montaña, Mexico City. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, v.31, p.236-244, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2018.12.005>

6 ARTIGO 5

SILVA, C. O.; KONRAD, O.; CALLADO, N. H. Geração de biogás no aterro sanitário de Maceió a partir de modelos empíricos. Revista Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental. 2020e

Artigo submetido para avaliação na Revista Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science - ISSN – 2238-8869. O periódico possui estrato superior em Ciências Ambientais, na classificação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

GERAÇÃO DE BIOGÁS NO ATERRO SANITÁRIO DE MACEIÓ A PARTIR DE MODELOS EMPÍRICOS

Resumo: Os resíduos sólidos urbanos dispostos em aterro sanitário e a partir do processo da digestão anaeróbia gera biogás, o seu reaproveitamento minimiza os impactos ambientais e gera uma fonte de energia renovável. O trabalho estudou o potencial de geração do biogás do aterro sanitário do município de Maceió, no estado de Alagoas, por meio do modelo cinético de primeira ordem recomendado pela CETESB, comparando os dados empíricos de emissões não controladas, com dados medidos em campo de emissões controladas, buscando estimar a eficiência de coleta pelos drenos verticais de biogás do aterro, e estimar o potencial de geração de energia a partir do biogás do aterro. Na composição do biogás, o percentual de CH_4 encontrados nos drenos verticais foi de 56,86% e a vazão média de 7,4 Nm^3/h , de CH_4 por dreno. A produção de biogás acumulada em 20 anos com o modelo LandGEM, foi 15.116.325 Nm^3 , com uma energia acumulada de 155,28 GWh e potência média de geração de 243,65 kW. Para o modelo Biogás, a produção acumulada é de 15.981.110 m^3 , com uma energia acumulada de 164,16 GWh, para uma potência média de geração de 257,50 kW.

Palavras-chave: aterro sanitário; resíduos sólidos domésticos; emissões de biogás; modelos empíricos; fontes renováveis.

BIOGAS GENERATION IN MACEIÓ LANDFILL FROM EMPIRICAL MODELS

Abstract: Urban solid waste, disposed of in landfill and from the anaerobic digestion process generates biogas, its reuse minimizes environmental impacts and generates a renewable energy source. The work studied the biogas generation potential of the landfill in the municipality of Maceió, in the state of Alagoas, using the first order kinetic model recommended by CETESB, comparing the empirical data of uncontrolled emissions with data measured in the emission field. controlled, aiming to estimate the collection efficiency by the vertical biogas drains from the landfill, and to estimate the potential of energy generation from the landfill biogas. In the composition of biogas, the percentage of CH_4 found in vertical drains was 56.86% and the average flow rate was $7.4 \text{ Nm}^3 / \text{h}$, of CH_4 per drain. The biogas production accumulated in 20 years with the LandGEM model was $15,116,325 \text{ Nm}^3$, with an accumulated energy of 128.68 GWh and an average generation power of 242 kW. For the Biogas model, the accumulated production is $15.981,110 \text{ m}^3$, with an accumulated energy of 141.31 GWh, for an average generation power of 255 kW.

Keywords: landfill; domestic solid waste; biogas emissions; empirical models; renewable sources.

1. INTRODUÇÃO

Os aterros sanitários são obras de engenharia, destinadas, ao armazenamento ou a guarda de resíduos (PORTELLA e RIBEIRO, 2014) que podem auxiliar na minimização de impactos ambientais dos sistemas de gerenciamento e resíduos sólidos urbanos (GOMES *et al.* 2015). Podem ser considerados como um reator biológico anaeróbico, tendo como entrada resíduos sólidos e a água, e como saída biogás e chorume (PINAS *et al.* 2016),

ricos em compostos orgânicos e inorgânicos (RIGOBELLO *et al.* 2015), que são coletados através de drenos de captação.

A digestão anaeróbia é uma tecnologia que tem sido aceitável porque permite o uso de biogás como energia renovável, visto que seu biogás é composto principalmente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), além de gases-traços como o gás sulfídrico, nitrogênio, entre outros (BARROS, 2016). O metano é um dos gases responsáveis pelo efeito estufa (GEE), com potencial de aquecimento global 21 vezes maior do que o gás carbônico. Dessa forma, o biogás proveniente de aterros sanitários além de ser uma alternativa energia viável devido ao poder energético do metano existente (VIEIRA *et al.* 2015), sua utilização evita que o mesmo seja lançado para atmosfera.

A utilização de energia através de resíduos sólidos está gerando uma ampla disseminação de interesse em todo mundo, e a maior parte desses resíduos está depositado em aterros sanitários (MUKHERJEE *et al.*, 2020), tornando-os um método promissor para gestão dos RSU e produção de energia através do biogás (MIRMOHAMADSADEGHI *et al.* 2019). Segundo Banja *et al* (2019) a Alemanha é o maior mercado europeu produtor de biogás para fins de eletricidade, representando 53% de toda eletricidade de biogás da União Europeia, enquanto a Itália e o Reino Unido contribuem com cerca de 13% cada.

Segundo a ANEEL (2017) no Brasil, o biogás possui capacidade instalada de geração elétrica de 122.250 kW, seu poder calorífico varia de acordo com a quantidade de metano existente em sua composição, atingindo cerca de 4500 a 6000 kcal por metro cúbico, apresentando uma participação de aproximadamente 0,08% na matriz elétrica. A Região Sudeste coleta praticamente a metade (52,6%) do volume total de RSU gerados no Brasil, e a Região Nordeste, vem em segundo lugar coletando cerca de um quarto dos RSU (22,1%). Reichert (2014) cita que cada tonelada de resíduos disposto em aterros tem potencial energético da ordem de 0,1 a 0,2 MWh.

No aterro sanitário os resíduos são cobertos com uma camada de solo compactada, formando uma barreira, inclusive para evitar ou minimizar o escape de biogás. No entanto, o tempo e as condições ambientais, reduz a eficiência dessa barreira e amplia a possibilidade de escape dos gases no aterro sanitário (MACIEL e JUCA, 2011), diminuindo a eficiências de coleta pelos drenos verticais (emissão controlada), reportadas normalmente entre 50 a 95%, com valor médio de 75% (EPA, 2008).

Por outro lado, existem diversos fatores que podem alterar a composição do biogás de aterros municipais, entre os quais a parcela de matéria orgânica nos resíduos sólidos domésticos (RSD), a umidade desses resíduos, a forma de operação do aterro e fatores climáticos tais como (GEBERT *et al.* 2006; TECLE *et al.* 2008; PARK *et al.*, 2001): pressão atmosférica (quanto maior a pressão menor a emissão de gases), precipitação (o aumento do teor de umidade no solo, diminui o espaço nos poros para o transporte gasoso), temperatura do ar e do solo (a taxa de emissões na superfície é máxima quando ocorrem valores máximos de temperatura do ar e do solo).

Barros (2012) cita que existem vários modelos para a estimativa teórica de produção de biogás. Destes, os modelos do Scholl Canyon recomendado pelo Banco Mundial, primeiro modelo a ser criado; o LandGEM proposto pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA); o BIOGAS desenvolvido pela Companhia Ambiental de São Paulo (CETESB), e os modelos apresentados pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), são os mais utilizados. Em todos eles a fração de resíduos passíveis de decomposição, a taxa de geração de metano (k) e o potencial de geração de metano (L_0) são parâmetros de grande importância, pois refletem a realidade de cada aterro.

O Scholl Canyon é um modelo cinético de primeira ordem, fácil de entender e aplicar, que se baseia na premissa de que uma fração constante de matéria orgânica se degrada por unidade de tempo, e a taxa k de geração de metano é função da precipitação anual (BANCO MUNDIAL, 2003).

O LandGEM considera dois tipos de emissões, a não controlada e a controlada. A emissão não controlada é um modelo cinético de primeira ordem cuja taxa k de geração de metano também depende da precipitação. A emissão controlada leva em conta a emissão não controlada e a eficiência do sistema coleta de gases (USEPA, 2008). Já o BIOGAS é um programa desenvolvido pela CETESB que utiliza o modelo cinético de primeira ordem da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (CETESB, 2006).

O IPCC (1996) apresenta dois modelos, um chamado de Padrão que se baseia no balanço de massas que supõe que todo metano é liberado instantaneamente no ano em que os resíduos foram depositados. O segundo é um modelo cinético de primeira ordem que reconhece que o metano é liberado ao longo do tempo e não instantaneamente, e utiliza as mesmas taxas de geração de metano do LandGEM.

No Brasil, inseridos no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), um dos instrumentos do Protocolo de Quioto para auxiliar o processo de redução de emissões de gases do efeito estufa, como por exemplo o metano, existem 59 projetos cadastrados (BRASIL, 2015), entre eles o da Central de Tratamento de Resíduos de Maceió (CTRM) com potência máxima de 10,5 MW, mas ainda com registro em validação (NASCIMENTO *et al*, 2019).

Nesse contexto, este trabalho estudou o potencial de geração do biogás do aterro sanitário do município de Maceió, no estado de Alagoas, por meio do modelo cinético de primeira ordem recomendado pela CETESB, comparando os dados empíricos de emissões não controladas, com dados medidos em campo de emissões controladas, buscando estimar a eficiência de coleta pelos drenos verticais de biogás do aterro, e estimar o potencial de geração de energia a partir do biogás do aterro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido na CTR - Central de Tratamento de Resíduos de Maceió (aterro sanitário), estado de Alagoas, Brasil, localizado do bairro do Benedito Bentes, com uma área total com 140 há, área de massa aterrada atual de 84 ha, com vida útil de 20 anos, a partir de 2010. O biogás produzido é drenado por meio de 130 drenos verticais e queimados em *flares*. A Figura 1 ilustra o aterro sanitário de Maceió.

Figura 1. Vista aérea do aterro sanitário de Maceió.



2.1 Especificação e quantificação da emissão controlada de biogás no aterro

Para especificação e quantificação das emissões controladas do biogás do aterro foram definidos nove drenos verticais existentes, estrategicamente localizados de modo que representassem a área do aterro, e georreferenciados com o auxílio de um GPS (Global Positioning System) do modelo GPSMAP 64, fabricado pela empresa Garmin.

A quantificação a emissão controlada de biogás no aterro foi feita um aparato em tubo de PVC 100 mm acoplados nos drenos verticais selecionados, com 1m de comprimento e diâmetro 9,7 cm de diâmetro interno, com um furo de 33 mm na tampa (para fechar uma das extremidades do tubo), onde foi colocada uma torneira de passagem e uma mangueira de silicone. A mangueira de silicone foi inicialmente acoplada a um analisador de gás portátil, da marca Biogás 5000, para medição de temperatura, pressão. Depois foi conectada a um anemômetro, da marca Geotech, utilizado para medir a velocidade do biogás nos drenos verticais. A vazão efetiva de biogás foi obtida multiplicando-se a velocidade do biogás pela seção (área do orifício) da peça. As medições de vazão foram realizadas de acordo Mills *et al.* (1993) utilizando a equação 1.

$$Q = (V \times A) \times \frac{273,15}{273,15+T} \times P \dots\dots\dots \text{equação 1}$$

Sendo: Q: vazão de biogás (Nm³/s)

V: velocidade de saída do biogás (m/s)

A: área da seção de passagem do fluido (m²)

T: temperatura de saída do biogás (°C)

P: pressão atmosférica (bar)

Para especiação do biogás foram realizadas a coletas nos drenos utilizando o mesmo aparato em tubo PVC usado na medição de vazão, onde a mangueira de silicone foi ligada ao bag de coleta, modelo Supel-Insert Multi-Layser Foil 1L/, e um anemômetro (kit Biogás 5000, Geotech), como ilustrado na figura 2.

As nove bags foram levados ao laboratório do Centro de Pesquisa em Energias e Tecnologias Sustentáveis (CPETS/TECNOVATES) - Universidade do Vale do Taquari - Univates. O gás foi analisado por meio da Cromatografia Gasosa (GC), modelo Clarus 580 GC - ARNL5840 modificado, marca PerkinElmer, equipado com Detector por Condutividade Térmica (TCD) para leitura de CH₄, CO₂, H₂, O₂ e N₂ e Detector Fotométrico de Chama (FPD) para identificação de H₂S. As colunas utilizadas no ensaio foram empacotadas (Hayesep e Peneira Molecular), o gás de arraste utilizado foi argônio e o gás de combustão para o FPD foi o hidrogênio, a temperatura do forno foi de 60 °C e as temperaturas dos detectores foram 250 °C para o TCD e 325 °C para o TCD. O software utilizado foi o Total Chrom & Int LINK. Os dados de vazão e composição de biogás foram tratados estatisticamente por meio de média e desvio padrão.

Figura 2. Coleta de gás nos drenos verticais, (a) Bags para coleta de gás (b) anemômetro para medição da velocidade do gás nos drenos.



2.2 Estimativa da emissão não controlada de biogás no aterro

Para estimativa da geração de biogás foi utilizado o modelo empírico de primeira ordem LandGEM (USEPA, 2005), sem controle de emissão. O software possibilita calcular as emissões de metano, dióxido de carbono, NMOCs (nonmethane organic compounds) e outros poluentes atmosféricos, por meio da equação 2.

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 k L_0 \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_{ij}} \quad \text{equação 2}$$

Onde: Q_{CH_4} = quantidade de metano produzida por ano (m^3 /ano)
 $i = 1$ - tempo em anos a ser incrementado
 n = ano do inventário (2010)
 $j = 0,1$ - tempo em anos a ser incrementado
 k = taxa de geração de metano ($0,04 \text{ ano}^{-1}$)
 L_0 = potencial da geração de metano (170 m^3 de CH_4 /ton.resíduo)
 M_i = massa de resíduos sólidos recebidos no ano "i" (ton./ano) =>tabela 7
 t = idade da seção "j" dos resíduos M_i recebidos no ano "i"

Os parâmetros k e L_0 são os mais importantes, pois refletem variações de acordo com o local, clima e tipo de resíduos. Os valores de k dependem da pluviometria, sendo recomendado pelo BM os valores apresentados na Tabela 1, tendo sido adotado o valor de $0,06 \text{ ano}^{-1}$, uma vez que a pluviometria anual de Maceió é entre 1500 e 1700 mm/ano.

Tabela 1. Valores recomendados de k (BANCO MUNDIAL, 2003).

Precipitação Anual	Valores para k		
	Relativamente inerte	Moderadamente degradável	Altamente degradável
< 250 mm	0,01	0,02	0,03
> 250 a < 500 mm	0,01	0,03	0,05
> 500 a < 1000 mm	0,02	0,05	0,08
> 1000 mm	0,02	0,06	0,09

O valor de L_0 foi estimado segundo o recomendado pelo IPCC (1996), através da Equação 3.

$$L_0 = FCM \times COD \times CODf \times F \times (16/12) \dots\dots\dots \text{equação 3}$$

Onde: L_0 : potencial de geração de metano do lixo (Gg de CH_4 /Gg de RSU);
 FCM : fator de correção de metano (%);
 COD : carbono orgânico degradável (%);
 $CODf$: fração de COD dissociada (%);
 F : fração em volume de metano (%);
 $16/12$: fator de conversão de carbono em metano (%).

O Fator de correção para o CH_4 (FCM) é uma correção em função do tipo de aterro, como apresentado na Tabela 2. Como se trata de aterro sanitário, o valor adotado foi de 1,0.

Tabela 2. Cálculo do fator de correção para o metano (IPCC, 1996).

Tipo de aterro	FCM
Controlado	1,0
Não controlado – profundo (≥ 5 m de resíduos)	0,8
Não controlado – pouco profundo (< 5m de resíduos)	0,4

A fração de carbono orgânico degradável (COD) é calculado por meio da porcentagem do resíduo dos principais tipos de resíduo aterrados, segundo a equação 4, e para tanto é necessário realizar a gravimetria dos resíduos que chegam ao aterro.

$$COD = (0,4xA) + (0,17xB) + (0,15xC) + (0,4xD) + (0,3xE) \dots\dots\dots \text{equação 4}$$

Onde: A: Papel/Papelão (%)
 B: resíduos de Parques e jardins (%)
 C: Restos de alimento (%)
 D: Têxteis (%)
 E: Madeira (%)

Como dados da composição gravimétrica foram utilizados os dados levantados por Silva *et al.*, (2020), no aterro sanitário de Maceió, apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Composição gravimétrica média dos resíduos sólidos.

Componentes		Percentual (%)
A	Papel/ Papelão	8,75
B	Matéria Orgânica	67,45
C	Resíduo de poda/ jardim	3,75
D	Têxteis	4,63
E	Madeira	1,51

Fonte: Silva et al. (2020)

A fração de COD dissociada (COD_f), indica a fração de carbono que é disponível para a decomposição bioquímica, sendo função da temperatura da zona anaeróbia, e pode ser obtida pela equação 5. O valor de temperatura adotado foi a média aritmética dos valores medidos em campo nos nove drenos verticais de gás amostrados.

$$\text{COD}_f = 0,014 \cdot T + 0,28 \dots\dots\dots \text{equação 5}$$

Onde: T: temperatura na zona anaeróbia [°C]

Para fração em volume de metano (F) foi utilizado a média aritmética dos valores medidos em campo nos nove drenos verticais de gás amostrados.

Para o cálculo anual da massa de resíduos sólidos domiciliares (M_i) gerados em Maceió, ao longo de 20 anos, considerou-se a taxa da geração *per capita* (G_{PCi}) e a população (P_i), segundo a equação 6.

$$M_i = P_i \times G_{PCi} \dots\dots\dots \text{equação 6}$$

O cálculo da população foi através da estimativa do crescimento populacional com base em dados históricos dos censos e contagem populacional do IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Tabela 4).

Tabela 4. Populações no período 1991/2019 para o município de Maceió.

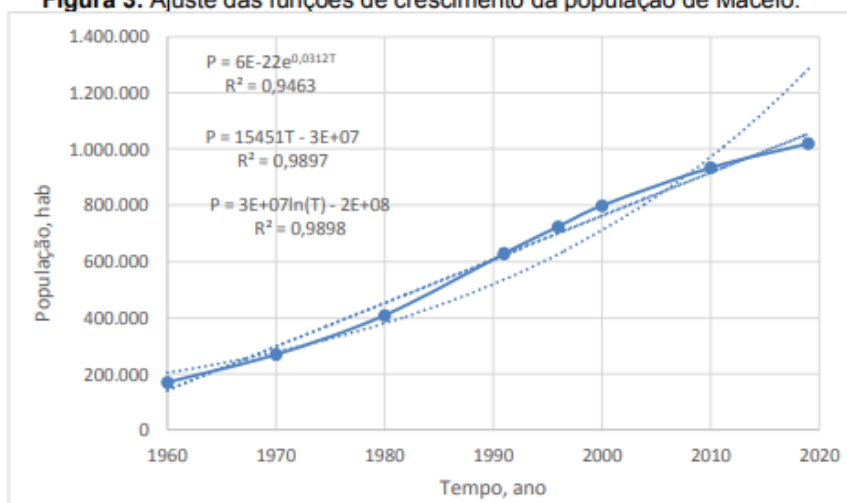
ANO	POPULAÇÃO
1970	269.415
1980	409.191
1991	628.241
1996	723.230
2000	797.759
2010	915.821
2019	1.053.131

Fonte: IBGE, (2000, 2010, 2019).

Os dados populacionais foram ajustados pelo método dos mínimos quadrados para diferentes funções estatísticas de crescimento (exponencial, logarítmico e linear), e foi calculado o coeficiente de correlação para cada função, tendo sido adotada a equação de crescimento que apresentou coeficiente de correlação mais próximo da unidade (melhor ajuste). Os resultados dos ajustes e suas respectivas equações e coeficientes de correlação, estão apresentados na Figura 3, onde se verifica que o melhor ajuste foi para função logarítmica, com curva de crescimento expressa pela equação 7.

$$P = 30.734.515,84 \times \ln(T) - 232.847.526,07 \dots\dots\dots \text{equação 7}$$

Figura 3. Ajuste das funções de crescimento da população de Maceió.

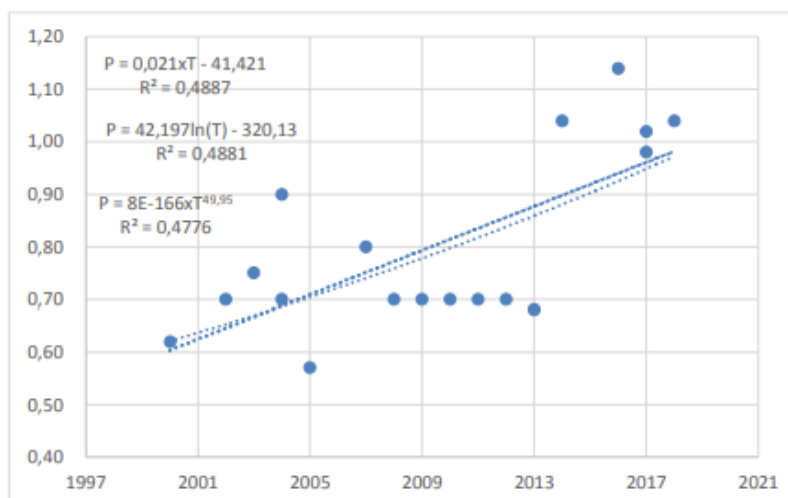


A taxa de *per capita* anual de resíduos sólidos domiciliares foi estimada para o período de 2020 a 2040 a partir de dados secundários do SNIS e dados de pesquisa levantados para Maceió (JUCÁ, MARIANO e SILVA, 2002; MELO, 2007; SILVA et al. 2020), constantes na Tabela 5. Esses dados foram ajustados estatisticamente pelo método dos mínimos quadrados (exponencial, logarítmico e linear), gerando-se as equações das curvas de crescimento e calculando-se o coeficiente de correlação linear para verificar ajuste. Os resultados dos ajustes e suas respectivas equações e coeficientes de correlação, estão apresentados na Figura 4, onde se verifica que o melhor ajuste foi para função logarítmica, com curva de crescimento expressa pela equação 8.

$$P = 0,021 \times T - 42,421 \dots\dots\dots \text{equação 8}$$

Tabela 5. Taxa *per capita* no período 2000/2018 para o município de Maceió

ANO	Per capita	Fonte	ANO	Per capita	Fonte
2000	0,62	Jucá et al,2002	2010	0,70	Snis, 2010
2002	0,70	Snis,2002	2011	0,70	Snis, 2011
2003	0,75	Snis, 2003	2012	0,70	Snis, 2012
2004	0,70	Snis, 2004	2013	0,68	Snis, 2013
2004	0,90	Melo, 2004	2014	1,04	Snis, 2014
2005	0,57	Snis, 2005	2016	1,14	Snis, 2016
2007	0,80	Snis,2007	2017	1,02	Snis, 2017
2008	0,70	Snis,2008	2017	0,98	Silva et al, 2020
2009	0,70	Snis, 2009	2018	1,04	Snis, 2018

Figura 4. Ajuste das funções de crescimento da taxa per capita de lixo.

Considerou-se que o serviço de coleta atende 100% em todos os bairros de Maceió e todo RSU vai para o aterro sanitário.

2.3 Estimativa da eficiência de coleta pelos drenos verticais de biogás do aterro

O sistema de drenagem do biogás é composto por drenos verticais que perpassa todas as camadas de resíduos ao longo das células desde a base até o platô superior. Os drenos verticais são compostos por tubos de concreto, dotados de orifícios, para possibilitar a entrada do biogás ao longo de seu comprimento. Para proteger a tubulação de drenagem, os tubos são envoltos por britas, contida por malha de ferro.

A captação do biogás no aterro é realizada através de drenos verticais, em que o biogás é queimado diretamente nos queimadores acoplados na parte superior destes drenos. Nesse sistema a eficiência de coleta do biogás pode chegar a até 80% em relação ao total de gás produzido no aterro sanitário.

2.4 Potencial de geração de energia a partir do biogás do aterro

Para estimar a geração de energia a partir do biogás gerado no aterro, foi utilizada a equação 9, e expressa a relação entre a quantidade de gás metano (vazão do metano), poder calorífico do gás metano e eficiência do grupo gerador.

$$P = Q \cdot PC_i \cdot n \cdot FC \dots\dots\dots \text{equação 9}$$

Onde: P = Potência disponível a cada ano (kW);
 Q = Vazão do metano a cada ano (m³ de CH₄);
 PC_i = poder calorífico do metano (kWh/m³);
 n = eficiência da planta (%);
 FC = Fator de Capacidade (%).

O poder calorífico inferior (PCI) do biogás é aproximadamente 5.500 kcal/m³, quando a proporção de metano for, aproximadamente de 60% (MULYLAERT et al. 2001). Os parâmetros para cálculo de geração de energia, PC_i do metano 10,5 kWh/m³ CH₄ (LMOP, 2011), eficiência da planta (motor de combustão interna) 33% (EPA, 1996), fator de capacidade, 85% (MUYLAERT et al. 2001).

Para estimar a potência elétrica com motor de combustão interna (KW), foi utilizada a equação 10 (TIAGO FILHO et al., 2011).

$$P_{ICE} = P \cdot E_{ICE} \dots \dots \dots \text{equação 10}$$

Onde: P_{ICE} = potência elétrica com motor de combustão interna (kW);

P = potência disponível a cada ano (kW);

E_{ICE} = eficiência de motor de combustão interna.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Composição do biogás do aterro

Os dados obtidos a partir da cromatografia gasosa, das amostras coletadas nos drenos verticais do aterro sanitário mostram a composição apresentada na Tabela 6. Verifica-se que os valores médios foram de 56,86 % de CH_4 , 41,72 % de CO_2 , 0,22 % de O_2 e 1,20 de N_2 não tendo sido observado gás hidrogênio.

Tabela 6. Composição do biogás no aterro sanitário de Maceió (%).

Componentes	Teor dos gases (%)
CH_4	56,86 \pm DP
CO_2	41,72 \pm DP
O_2	0,22 \pm DP
H_2	0,00 \pm DP
N_2	1,20 \pm DP

O percentual de CH_4 , encontrado neste estudo, é próximo aos realizados em outros aterros sanitários (Tabela7), e na pesquisa de Freire (2018), 57%. O autor acrescenta que a composição analisada é de ótima qualidade para geração de energia. O biogás possui um poder calorífico entre 2.333,85 e 6.253,01 kcal.kg-1 e é composto por 40 a 75% de metano (LANNICELLI, 2008). Essas características são importantes para conversão de máquinas que empregam outros combustíveis em máquinas de combustão à biogás (LANNICELLI, 2008).

É imprescindível, nesses estudos, a observação da situação estrutural do aterro sanitário em campo, para verificação da deterioração dos drenos e possíveis fuga do biogás, que pode influenciar na vazão. Além disso, as condições favoráveis à degradação anaeróbia, condições dos sistemas de drenagem do aterro e condições ambientais externos (SILVA e CAMPOS, 2008).

Tabela 7. Composição de biogás em outros aterros sanitários.

Autores	Componentes e teor de gases (%)				
	CH_4	CO_2	O_2	H_2	N_2
Guedes, (2018)	57,5	41,2	0,9	nd	nd
Benato e Macor, (2019)	55,0	41,0	0,4	nd	0,7
Dimitrov et al. (2019)	58,0	37,5	nd*	nd	nd
Rasi, (2009)	57,0	37,0	1,0	nd	1,0

n.d*: não analisado

A vazão média de biogás considerado os drenos verticais monitorados no aterro sanitário estão apresentados na Tabela 8, onde se verifica que a vazão média de biogás por dreno vertical é de 13,44 Nm³/h e de CH₄ é de 7,4 Nm³/h. Considerando a vazão média de biogás nos drenos (13,44 Nm³.h⁻¹) e CH₄ (7,4 Nm³.h⁻¹), por dreno vertical obtida neste estudo e o número de drenos verticais do aterro (130), estima-se que o aterro sanitário de Maceió (área do estudo), esteja produzindo cerca de 1.747Nm³.h⁻¹de biogás e aproximadamente 962 Nm³.h⁻¹, de CH₄.

Tabela 8. Vazões de biogás e gás metano dos drenos verticais no aterro sanitário de Maceió

Monitoramento	Vazão (Nm ³ .h ⁻¹)
Vazão média de biogás por dreno	13,44 ± DP
Vazão média de gás metano por dreno	7,4 ± DP
Vazão total de biogás	912,45
Vazão total de gás metano	518,82

A vazão média de CH₄ por dreno, neste estudo, é compatível a outros trabalhos realizados em aterros sanitários (Tabela9). Vale ressaltar o estudo realizado em uma célula experimental do aterro sanitário da Muribeca/PE, por Maciel, Jucá e Codeceira Neto (2011), a vazão média atingiu de CH₄ e de biogás, 19,4 e 38,7, respectivamente. Os autores destacaram que a vazão do biogás está relacionada o lento enchimento da célula e a não existência de camadas de cobertura intermediárias e maior influência das condições atmosféricas relacionado com a profundidade útil dos drenos na célula, a qual foi inferior a 4,0 m. Ainda assim, “a ineficiência do sistema de captação amplia o escape fugitivo de gás metano no aterro sanitário, ou seja, emite-se fugitivamente parte daquilo que o sistema construído não foi capaz de captar” (CANDIANI e VIANA, 2017).

Tabela 9. Vazão de biogás nos drenos verticais obtido em diferentes estudos.

Autores	Monitoramento da vazão de biogás e metano por dreno (Nm ³ . h ⁻¹)			
	Média de biogás	Média de metano	Total biogás	Total metano
Guedes, (2018)	n.d*	7,0	104,0	63,0
Fernandes, (2009)	n.d	8,3	n.d	21,10
Audibert e Fernandes, (2012)	n.d	7,5	n.d	102
Maciel, Jucá e Codeceira Neto (2011)	38,7	19,4	193,5	97,3

n.d*: não analisado

3.2 Estimativa de geração de biogás

Através das informações do total da população e a geração *per capita* kg/hab./dia, dos resíduos sólidos urbanos, com um acréscimo de 1% ao ano, pode-se projetar a quantidade de resíduos em toneladas ano a ano e o volume de resíduos em tonelada, acumulado para uma vida útil de 20 anos do aterro sanitário de Maceió, Tabela 10.

Tabela 10. Quantidade de resíduos gerados no aterro de Maceió de 2010 a 2029.

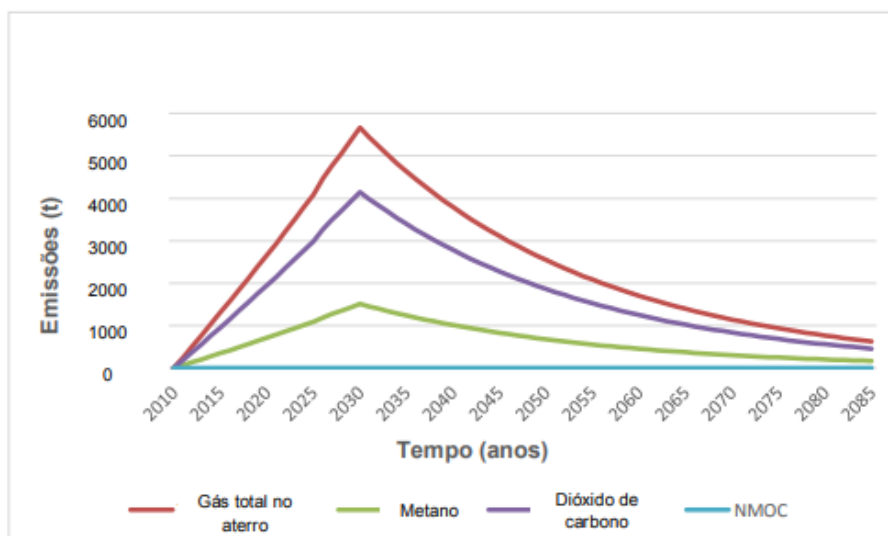
Município de Maceió – (2010 – 2029)				
Ano (t)	População (habitantes)	Índice per capita de massa coletada, com acréscimo de 1% ao ano (kg/hab./dia)	Lixo (ton/dia)	Lixo (ton/ano)
2010	915.821	0,789	722,58	263.741,70
2011	931.108	0,810	754,20	275.283,00
2012	945.387	0,831	786,45	287.054,25
2013	961.659	0,852	819,33	299.055,45
2014	976.923	0,873	852,85	311.290,25
2015	992.180	0,894	887,01	323.758,65
2016	1.007.429	0,915	921,80	336.457,00
2017	1.022.670	0,936	957,22	349.385,30
2018	1.037.904	0,957	993,27	362.543,55
2019	1.053.131	0,978	1.029,96	375.936,17
2020	1.068.350	0,999	1.067,28	389.557,65
2021	1.083.561	1,020	1.105,23	403.409,73
2022	1.098.765	1,041	1.143,81	417.492,14
2023	1.113.961	1,062	1.183,03	431.804,71
2024	1.129.150	1,083	1.222,87	446.347,28
2025	1.144.331	1,104	1.263,34	461.119,66
2026	1.159.505	1,125	1.304,44	476.121,70
2027	1.174.671	1,146	1.346,17	491.353,22
2028	1.189.830	1,167	1.388,53	506.814,05
2029	1.204.981	1,188	1.431,52	522.504,03

3.3 Geração de metano e energia a partir dos software LandGEM e Biogás

Software LandGEM (EPA)

Para os cálculos da geração de metano a partir dos modelos foram utilizados os dados da quantidade de resíduos da tabela 10. O software LandGEM possibilitou estimar o volume de CH₄, produzido no ano de encerramento das atividades do aterro sanitário (2029), considerado na simulação com uma vida útil de 20 anos, que recebe diariamente cerca de 722 toneladas de RSU, alcançou o valor de 15.126.325 Nm³ CH₄/ano. Após esse período, as emissões de CH₄ passam a diminuir, no entanto, ainda continuam ocorrendo por muitos anos (Figura 5). Estudo desenvolvido por Ensinas (2003) mostrou que a vazão de CH₄ para o Aterro Delta (Campinas - SP), que recebe diariamente cerca de 645 toneladas de RSU, atingiu a marca de 1370 Nm³ CH₄/h após 15 anos de disposição de RSU. Nesse sentido, o valor de Nm³ CH₄/ano é 11.836.800.

Figura 5. Emissões de CH_4 pelo Software LandGEM (EPA).

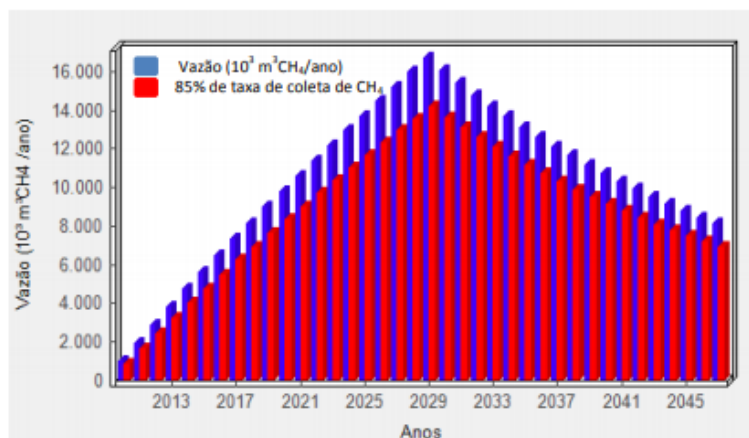


Software Biogás (Cetesb)

Com o software Biogás, o volume de CH_4 estimado no aterro sanitário foi de 15.981.110 $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ano}$ (Figura 6).

Em estudo desenvolvido por Piñas et al. (2016), mostrou a vazão de CH_4 , para o aterro da cidade de Três Corações, Minas Gerais, nos 20 anos de vidas útil do aterro sanitário com uma população de 69.618 (2015) e 19.058 toneladas de resíduos (2010), existe uma produção acumulada de $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{ano}$ é de 27.476.360.

Figura 6. Emissões de CH_4 pelo Software Biogás (Cetesb).



Geração de energia

No cálculo da produção de energia, utilizou-se a quantidade de produção de metano em seu pico máximo obtido no **modelo** LandGEM e Biogás, além de que considera-se que apenas 80% do gás emitido é recuperado.

LandGEM:

$$P = (PCI * Q * 0,85 * \eta) / 860.000$$

$$P = 5500 \text{ [kcal/m}^3\text{CH}_4] * 1,512 \times 10^6 \text{ [m}^3\text{CH}_4\text{/ano]} * 0,85 * 0,33 * 1/860.000$$

$$\text{[MW/(kcal/h)]}$$

$$P = 2712,37 \text{ MWh/ano}$$

$$P = 0,310 \text{ MW}$$

Logo,

$$E = P * \text{Rend.} * \text{Tempo de Operação}$$

$$E = 0,310 \text{ [MW]} * 0,87 * 24 \text{ [horas/dia]}$$

$$E = 6,47 \text{ MWh/dia}$$

Biogás:

$$P = (PCI * Q * 0,85 * \eta) / 860.000$$

$$P = 5500 \text{ [kcal/m}^3\text{CH}_4] * 1,598 \times 10^6 \text{ [m}^3\text{CH}_4\text{/ano]} * 0,85 * 0,33 * 1/860.000$$

$$\text{[MW/(kcal/h)]}$$

$$P = 2866,65 \text{ MWh/ano}$$

$$P = 0,327 \text{ MW}$$

Logo,

$$E = P * \text{Rend.} * \text{Tempo de Operação}$$

$$E = 0,327 \text{ [MW]} * 0,87 * 24 \text{ [horas/dia]}$$

$$E = 6,84 \text{ MWh/dia}$$

De posse desses dados, a tabela 11 mostra a comparação da geração de energia dos dois modelos, com energia acumulada durante 20 anos de 155,28 GWh, para o LandGEM, e de 164,16 GWh, para o Biogás.

Para geração de energia elétrica utilizando um motor de combustão interna a pistão (eficiência de 33%), a potência média de 243,65 kWe, com o modelo LandGEM, e de 257,50 kWe, com o Biogás. Houve uma variação de 5,40 entre o LandGEM e Biogás.

Para geração de energia elétrica utilizando um motor de combustão interna a pistão (eficiência de 33%), a potência média de 243,65 kWe, com o modelo LandGEM, e de 257,50 kWe, com o Biogás. Houve uma variação de 5,40 entre o LandGEM e Biogás.

Tabela 11. Geração de metano e energia dos modelos LandGEM (EPA) e Biogás (Cetesb) no aterro sanitário do Município de Maceió - 2010-2029.

Modelo	Emissões de metano (m³/ano)	Energia acumulada (GWh)	Potência (kWe)	
			Disponível	Motor de combustão a pistão
LandGEM (EPA)	15.116.325	155,28	739	243,65
Biogás (Cetesb)	15.981.110	164,16	781	257,50
Variação (%)		5,40		

Fonte: EPA, (2005); CETESB, (2006).

Observa-se, na Tabela 11, que não existe diferença considerável entre os dois modelos utilizados para calcular a geração do biogás de aterros sanitários.

4 CONCLUSÕES

Na composição do biogás, o percentual de CH_4 encontrados nos drenos verticais foi de 56,86%. Esse resultado é próximo a outros estudos semelhante. A vazão média de 7,4 Nm^3/h , de CH_4 por dreno é compatível a outros trabalhos realizados em aterros sanitários.

A produção de biogás acumulada para 20 anos para o modelo LandGEM, foi 15.116.325 m^3/ano e para o modelo Biogás/Cetesb foi de 15.981.110. A variação média dos modelos LandGEM e Biogás foi 5,40%, podendo-se concluir que não houve diferença considerável.

A energia acumulada para o modelo LandGEM/EPA foi 155,28 e para o Biogás/Cetesb foi 164,16 GWh.

A potência disponível foi 739 e 781 KWe, para o LandGEM e Biogás, respectivamente. A potência média da geração foi de 243,65 kWe, utilizando o LandGEM e de 257,50 kWe com o modelo Biogás, para um motor de combustão interna a pistão com eficiência de conversão elétrica de 33%.

O ápice de geração de CH_4 é aos 20 anos, período do seu encerramento. Após esse momento, a geração de CH_4 vai diminuindo, quando se encerra e deixa de incorporar matéria orgânica.

Portanto, a pesquisa não esgota todo debate a cerca da temática aqui, o aproveitamento da energia oriunda da decomposição microbiana dos resíduos orgânicos dos aterros sanitários, com vista, principalmente, à geração do biogás para o aproveitamento energético. Destaca-se a importância de mais estudos, sobre a utilização do biogás de aterros sanitários como combustível para caldeiras, geração de energia através de motores e purificação para uso como combustível veicular.

5 REFERÊNCIAS

- Audibert JL, Fernandes F 2012. Avaliação qualitativa e quantitativa da emissão de biogás em aterro controlado de médio porte. Revista DAE, (190): 56-73.
- Banja M et al 2019. Apoio ao biogás no setor elétrico da UE - Uma análise comparativa. Biomassa e Bioenergia (128): 105313.
- Barros RM 2012. Tratado sobre resíduos sólidos: gestão, uso e sustentabilidade. Rio de Janeiro: Interciência; Minas Gerais: Acta.
- Barros RM 2016. Energia de biogás da digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e de aterros sanitários. Revista O Futuro da Energia 1 (1).
- Benato A, Macor A 2019. Italian Biogas Plants: Trend Subsidies, Cost, Biogas Composition and Engine Emissions. Energies 12:979.
- BRASIL 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatístico. PNSB – Dados censitários. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 02 abr.2020.
- BRASIL 2012. Ministério de Meio Ambiente. Aproveitamento energético do biogás de aterro sanitário. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuossolidos/aproveitamento-energetico-do-biogasde-aterro-sanitario>. Acesso em: 01 abr. 2020.

BRASIL 2019. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatístico. PNSB – Pesquisa do Saneamento Básico. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 02 abr. 2020.

Candiani G, Viana E 2017. Emissões fugitivas de metano em aterros sanitários. Geosp - Espaço e Tempo (Online) 21 (3): 845-857. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/97398>. Acesso em: 17/set. 2020.

CETESB 2006. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Biogás: geração e uso energético – versão 1.0/CETESB. Secretaria de meio Ambiente, Ministério da Ciência e Tecnologia, São Paulo. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/biogas/softwares/> Acesso em: 07mar. 2020.

Dimitrov R et al 2019. Optimization of biogas composition in experimental studies. E3S Web of Conferences, 8th International Conference on Thermal Equipment, Renewable Energy and Rural Development - TE-RE-RD 112.

Ensinas AV 2003. Estudo da Geração de Biogás no Aterro Sanitário Delta de Campinas-SP. Dissertação, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 143pp.

EPA 1996. Turning a liability into an asset: a landfill gas-to-energy project development handbook. Landfill Methane Outreach Program - EPA.

EPA 2005. United States Environmental Protection Agency. Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 user's guide. Morrisville, NC. Disponível em: <http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/landgem-v302.xls> > Acesso em: 07 mar. 2020.

Fernandes JG 2009. Estudo da Emissão de Biogás em um Aterro Sanitário Experimental. Dissertação, Universidade Federal de Minas Gerais, 116 pp.

Freire VHN 2018. Estimativa do potencial de produção de biogás em um aterro sanitário para aproveitamento energético. Dissertação, Universidade Federal de Santa Catarina, 102pp.

Gomes LP et al 2015. Avaliação ambiental de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos precedidos ou não por unidades de compostagem. Eng Sanit Ambient 20 (3): 449-462.

Guedes MJF 2018. Estudo das emissões de biogás em aterro de resíduos sólidos urbanos no semiárido brasileiro. Tese, Universidade Federal de Campina Grande, 182pp.

Hoornweg D, Bhada-tata P 2012. O que é um resíduo: uma revisão global do gerenciamento de resíduos sólidos. Documentos de Conhecimento da Série de Desenvolvimento Urbano, Banco Mundial (15).

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE 1996. **Guidelines for National Greenhouse Inventories:** Reference Manual. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6>>. Acesso em: 20 jun. 2020.

Lannicelli AL 2008. Reaproveitamento energético do biogás de uma indústria cervejeira. Dissertação, Universidade de Taubaté, Taubaté, São Paulo, 84 pp.

LMOP 2020. Landfill methane outreach program. Disponível em: <http://www.epa.gov/lmop>. Acesso em: 23 dez. 2020.

Maciel FJ, Jucá JFT, Codeceira Neto A 2011. Avaliação do projeto piloto de recuperação de biogás no aterro da Muribeca/PE. VI Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (VI CITENEL) e II Seminário de Eficiência Energética do Setor Elétrico (II SEENEL). Disponível em: <http://www.mfap.com.br/pesquisa/arquivos/20110930084345-418.pdf> Acesso em: 14 set. 2020.

Marques MD 2011. Seleção de áreas para implantação de aterro sanitário simplificado - estudo de caso para o município de Guapó - GO. Dissertação, Universidade Federal de Goiás, 119pp.

Mirmohamadsadeghi S et al 2019. Biogas production from food wastes: A review on recent developments and future perspectives. *Bioresource Technology Reports* (7): 100202.

Mukherjee, C et al 2020. A review on municipal solid waste-to-energy trends in the USA. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (119): 109512.

Murtala AM, Shawal NN, Usman HD 2012. Biomass as a renewable source of chemicals for industrial applications. *Inter J Eng Sc Technol* 4 (02): 721-730.

Muylaert MS et al 2001. Consumo de energia e aquecimento do planeta – Análise do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL do Protocolo de Quioto: Estudos de caso. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ.

Portella MO, Ribeiro JCJ 2014. Aterros sanitários: aspectos gerais e destino final dos resíduos. *Revista Direito Ambiental e Sociedade* 4, (1):115-134.

Rasi SE 2009. Biogas composition and upglading to biomethane. Dissertation, University of Jyväskylä, 79 pp.

Rigobello, ES et al 2015. Identificação de compostos orgânicos em lixiviado de aterro sanitário municipal por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas. *Quim. Nova* 38 (6): 794-800.

Silva TN, Campos LMS 2008. Avaliação da produção e qualidade do gás de aterro para energia no aterro sanitário dos bandeirantes - SP. *Eng. Sanit. Ambient* 13 (1): 88-96.

Silva TR 2012. Metodologia para a determinação teórica da potência ótima conseguida a partir da combustão do biogás gerado em aterro sanitário: Estudo de caso do aterro sanitário de Itajubá-MG. Dissertação. Universidade Federal de Itajubá, 164 pp.

SNIS 2010, 2011, 2012, 2013, 2014. Diagnóstico dos serviços de resíduos sólidos. Brasília: Ministério das Cidades, Brasil.

Tiago Filho GL et al 2011. Analysis of Brazilian SHP policy and its regulation scenario. *Energy Policy* 39 (10): 6689-6697.

Vieira GEG et al 2015. Produção de biogás em áreas de aterros sanitários: uma revisão. *Revista Liberato*, Novo Hamburgo 16 (26): 101-220.

7 DISCUSSÃO GERAL

7.1 Discussão integrada dos artigos

No formato de tese em artigos sequenciais, o tópico, discussão dos artigos, trata da discussão integrada dos cinco artigos e a interconexão deles com os quatro objetivos específicos da tese e com o objetivo geral.

Com o título, “Resíduos sólidos urbanos de Maceió-AL: análise da composição gravimétrica sob influências sazonais” (SILVA *et al.*, 2020a), o primeiro artigo (parte A do primeiro objetivo específico) estimou as características dos resíduos gerados e destinados ao aterro municipal de Maceió/AL, quantificando-os e classificando-os como orgânicos, recicláveis e rejeitos, por regiões administrativas, bem como avaliou características de variação no perfil dos resíduos que podem estar associadas à sazonalidade. Percebeu-se que, em média, os resíduos orgânicos representam 67,45%; os materiais potencialmente recicláveis, 20,32%; e os rejeitos representam 12,23%.

Quanto à segunda constatação, o estudo revelou uma média percentual de massa de materiais recicláveis de 18,06% e de 22,58% do total de resíduos coletados, nos meses de junho, julho, agosto e novembro, dezembro 2017 e janeiro 2018, respectivamente, comprovando as diferenças relacionadas à sazonalidade e aos eventos festivos. Neste contexto, fica clara a necessidade de investir em educação, em conscientização ambiental, em informação e promoção do bem-estar social, considerando a disponibilização e a separação adequada de resíduos sólidos domiciliares. Complementando Souza *et al.* (2015), fica evidente o efeito da

sazonalidade nos diferentes períodos do ano. É imprescindível que os munícipes implementem políticas ambientalmente sustentáveis para a gestão integrada de resíduos sólidos. Com a participação de toda comunidade, os ganhos relacionados ao meio ambiente e à qualidade de vida dos moradores tornam-se uma realidade possível (SOUZA *et al.*, 2015).

Somando-se a essa realidade, no segundo artigo da tese, “Discretização da estimativa de geração *per capita* e a análise gravimétrica de resíduos sólidos urbanos” (SILVA *et al.*, 2020b), parte B do primeiro objetivo específico, o autor analisou a geração de resíduos sólidos domiciliares e a relação com os estratos socioeconômicos, em Maceió, Alagoas. De forma geral, verificou-se que a fração orgânica foi maior em regiões que abrangem bairros com estratos socioeconômicos predominantemente mais baixos. A geração *per capita* de resíduos apresentou uma média 0,59 kg/hab-1.d-1, sendo o maior valor, 0,87 kg/hab-1. d-1, observado em regiões com estratos socioeconômicos mais altos.

Nota-se que o estudo da composição gravimétrica dos resíduos discretizados por região e por estratos socioeconômicos pode trazer uma nova compreensão a respeito da geração de resíduos sólidos domésticos. Complementando este entendimento, Feitosa; Barden; Konrad, (2018) aludem que as diferenças socioeconômicas e as questões culturais da população interferem na composição gravimétrica e na quantidade de resíduos sólidos (FEITOSA; BARDEN; KONRAD, 2018). Em regiões onde as famílias possuem baixa renda domiciliar e baixo grau instrucional, verifica-se maior incidência de matéria orgânica nos resíduos sólidos domésticos (MENEZES, 2019).

Dando continuidade, os três artigos que seguem buscaram analisar a sustentabilidade desses resíduos sólidos orgânicos de aterros sanitários na produção de biogás. No artigo, “Resíduos sólidos orgânicos domésticos como substrato potencial para produção de biogás” (SILVA *et al.*, 2020c), o autor avaliou o potencial bioquímico de biogás (PBB) e metano (PBM) dos resíduos sólidos orgânicos de origem doméstica (resíduos novos-RN), provenientes do aterro sanitário de Maceió, Alagoas. Identificou-se que o potencial de geração de biogás deste resíduo é necessário para buscar outra logística de destinação e reduzir a disposição em aterro sanitário. Foi constatado que, no ensaio de digestão anaeróbia,

os resíduos sólidos de origem domésticas (RSOD) apresentou PBB de $817,70 \pm 13,43 \text{ m}^3$ por TonSV-1, com alto teor de metano (percentual máximo de metano de 75,15 %). Além disso, o período de incubação do substrato foi de 17 dias, o que mostra a facilidade de os microrganismos assimilarem este substrato. Como segunda constatação, destaca-se que o RSOD apresenta potencial energético para uso como substrato em biodigestores anaeróbios. Constata-se que a digestão anaeróbia é a forma mais adequada de tratamento de resíduos orgânicos. Nesse sentido, os resíduos sólidos de origem doméstica denotam um potencial de geração de Biogás e a procura de fontes renováveis de energias (FRIAS 2016; GRANZOTTO; SCHERER; BRACHER, 2016).

Ao avaliar a “Geração quantitativa e qualitativa da emissão de biogás no aterro sanitário de Maceió” (SILVA *et al.*, 2020d), o autor buscou avaliar a vazão e a qualidade do biogás do aterro sanitário de Maceió-AL. O estudo mostrou que a vazão do biogás é diferente nos drenos e que o biogás possui composição satisfatória (56,86 % de metano) para aproveitamento energético. O estudo contribui para a estimativa da qualidade e da quantidade de CH_4 , através de drenos verticais em aterro sanitário. Silvestre *et al.* (2015) reforçam a importância dos drenos, que permitem tipificar a geração de biogás. Os mesmos autores afirmam que há uma variação de vazão de biogás em cada dreno, ao longo do tempo. Um dos fatores é a fuga de metano pela superfície, que pode influenciar nos resultados (SILVA; FREITAS; CANDIANI, 2013). Assim, o gás de aterro sanitário aperfeiçoa a matriz energética e reduz os impactos ambientais (SOUZA *et al.*, 2019).

Dando sequência, no quinto artigo, “Geração de biogás no aterro sanitário de Maceió a partir de modelos empíricos ”(SILVA *et al.*, 2020e), o autor estudou o potencial de geração de biogás no aterro sanitário de Maceió, estado de Alagoas, por meio do modelo cinético de primeira ordem, recomendado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, comparando os dados empíricos de emissões não controladas, com dados de emissões controladas medidos em campo, buscando estimar a eficiência da coleta pelos drenos verticais de biogás do aterro, bem como estimar o potencial de geração de energia a partir do biogás do aterro. O estudo mostrou que a produção de biogás acumulada em 20 anos com o modelo LandGEM foi $15.116.325 \text{ Nm}^3$, com uma energia acumulada de 128,68 GWh e potência média de geração de 242 kW. Para o modelo Biogás, a produção

acumulada é de 15.981.110 m³, com uma energia acumulada de 141,31 Gwh e uma potência média de geração de 255 kW.

7.2 Alternativas energéticas e desenvolvimento sustentável

A ressignificação dos resíduos sólidos orgânicos para a conversão em energia a partir do biogás pode auxiliar na solução de graves problemas ambientais. Nesse sentido, Zargo e Barros (2019) consideram os resíduos sólidos orgânicos como um recurso precioso para serem convertidos em adubos ou em energia, contribuindo, dessa forma, para atingir o sétimo objetivo da nova agenda de desenvolvimento sustentável (FIGURA 1).

Figura 1 - Objetivo de desenvolvimento sustentável (ODS)



Fonte: ONU (2020)

O estudo doutoral está interligado a publicações científicas na área de resíduos sólidos orgânicos e de energia. Essa abordagem permitiu compreender a sustentabilidade dos resíduos sólidos de aterros sanitários com foco na produção de biogás.

7.2.1 Resíduos sólidos urbanos: indicador e importância socioambiental

O lixo é constituído por materiais que podem ser reaproveitados (os resíduos) e rejeitos. São considerados rejeitos “aqueles resíduos sólidos cujas possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis foram todas esgotadas, sendo o aterro sanitário a única tecnologia permitida para essa finalidade” (BRASIL, 2010). Portanto, a valoração dos resíduos orgânicos pode auxiliar na solução de graves problemas ambientais como a degradação do solo, a erosão e as mudanças climáticas (ZAGO; BARROS, 2019).

O fato de os resíduos sólidos serem fonte de biomassa, bem como a possibilidade de aproveitamento do biogás gerado nos aterros sanitários levantam a discussão a respeito da aplicação dessa biomassa como fonte energética. Sob outra perspectiva, diante do atual cenário das mudanças climáticas, existe a necessidade de as autoridades nacionais colocarem em seus planos a busca de soluções que visem diminuir a emissão de gases de efeito estufa e a dependência da utilização de combustíveis fósseis, incentivando a exploração e o uso de fontes de energias renováveis, no caso, o aproveitamento do biogás produzido nos diversos aterros dos resíduos sólidos urbanos do Brasil (NASCIMENTO *et al.*, 2019).

Nessa linha, duas questões foram observadas no estudo doutoral a respeito desta temática: (a) composição gravimétrica e influências sazonais dos resíduos sólidos urbanos; e (b) geração *per capita* e indicadores socioeconômicos de resíduos sólidos urbanos.

7.2.1.1 Composição gravimétrica e influências sazonais dos resíduos sólidos de origem doméstica

A ressignificação e a valoração da biomassa dos resíduos sólidos para a produção de biogás envolvem o conhecimento da composição gravimétrica e a sazonalidade. Esses assuntos levantam questões relativas à composição gravimétrica de resíduos sólidos urbanos que consideram as análises por sazonalidades, importantes para o planejamento e para a estruturação específica de gerenciamento apropriado. Um estudo recente sugere que a composição gravimétrica pode dimensionar a quantidade de rejeitos, que é uma “parcela pouco conhecida na classificação dos resíduos e que 68% dos rejeitos podem ser reciclados” (MOURA; PINHEIRO; CARMO, 2018, p. 107). O mesmo estudo, por meio da análise sazonal, “indicou uma preocupante geração constante de resíduos de cuidados de saúde e aumento na geração de equipamentos elétricos e eletrônicos” (MOURA; PINHEIRO; CARMO, 2018, p. 107).

Assim, num estudo sobre a composição gravimétrica e a sazonalidade em Xangri-lá, RS, os autores encontraram nos períodos chuvosos e secos, 77,34% e 76,06% de resíduos orgânicos, respectivamente. Foi constatado que a média da fração de resíduos orgânicos é predominante, em virtude da coleta seletiva e pelo

fato de esta fração ser mais pesada devido à grande quantidade de água presente, 76,7% (ENGELMANN *et al.*, 2019). Em consonância com estes resultados, o presente estudo doutoral encontrou (68,30% e 66,60%) e a média de 67,45%. As diferenças na composição, observadas entre os valores em cada estação do ano, indicam uma forte influência na composição (SANTOS *et al.*, 2013). Nesse sentido, fica evidente o efeito da sazonalidade, o que poderá contribuir para que gestores municipais implementem políticas adequadas e ambientalmente sustentáveis, em termos de gestão integrada de resíduos sólidos (SOUZA *et al.*, 2015).

O fato de os resíduos sólidos domésticos analisados no estudo doutoral serem compostos, em média, de 67,45% de biomassa, a literatura apresenta a possibilidade de reaproveitamento dessa biomassa como composto orgânico, por meio da compostagem, variando seus percentuais entre 40% (OLIVEIRA; OLIVEIRA; MOURA, 2013); 46% (KONRAD; CASARIL; SCHMITZ, 2010); 48% (FEITOSA; BARDEN; KONRAD, 2018); 60,3% (KONRAD *et al.*, 2014). Como produção de energia renovável a partir do biogás, são de grande importância para a sustentabilidade ambiental e a gestão ambiental destes resíduos (SANTOS FILHO *et al.*, 2018).

7.2.1.2 Geração *per capita* e estratos socioeconômicos de resíduos sólidos de origem doméstica

O segundo ponto levantado na temática resíduos sólidos refere-se ao fato de a geração *per capita* e os indicadores socioeconômicos serem informações importantes sobre a geração de resíduos sólidos por bairros, por setores de coleta e por classes sociais. A geração de resíduos está associada aos hábitos de consumo de cada cultura e conectada ao poder econômico da população (GIACCOM-RIBEIRO; MENDES, 2018).

A desconformidade socioambiental, que compreende a gestão de resíduos sólidos, passa pela ótica da produção e do consumo ambientalmente sustentáveis, sendo necessária uma mudança de hábitos cotidianos para que se possa garantir uma sociedade sustentável (FEITOSA *et al.*, 2018, p. 359). Além do mais, os hábitos e o consumo são específicos em cada comunidade (KONRAD *et al.*, 2018, p. 4). No entanto, atenta-se para a importância da percepção dos modos atuais de consumo e

da supressão de resíduos sólidos de cada população em seu contexto, com análises procedimentais e a coleta de dados *in loco*. Assim, os valores médios de geração de resíduos sólidos residencial *per capita* fica na ordem de 0,5 a 0,8 kg/hab./dia (GIACCOM-RIBEIRO; MENDES, 2018).

Diferenças socioeconômicas e questões culturais da população interferem na composição gravimétrica e na quantidade de resíduos gerados. Em termos quantitativos, evidencia-se que a geração *per capita* de resíduos sólidos domiciliares apresenta uma relação positiva, de acordo com o nível de renda do bairro gerador; não obstante, diminui quando atinge o nível mais elevado de rendimentos (FEITOSA; BARDEN; KONRAD, 2018). A massa coletada de resíduos sólidos domiciliares está atrelada a fatores socioeconômicos, isto é, o rendimento mensal do responsável pelo domicílio, o grau de escolaridade e a composição familiar (população residente por domicílio) (GIL, 2016).

A composição gravimétrica de resíduos proporciona a análise, a partir das classes socioeconômicas, de questões culturais e da consciência e da disposição da população (KONRAD; CASARIL; SCHMITZ, 2010). Ações desenvolvidas a partir da análise gravimétrica de RSU permitem um “olhar diferenciado para os problemas ambientais causados pela geração, descarte e disposição dos resíduos” (FEITOSA; BARDEN; KONRAD, 2017, p. 182).

Nesse contexto, o estudo por setorização ou por rotas é outro aspecto relevante para a gestão dos resíduos domiciliares. Num estudo sobre indicadores socioeconômicos, composição e geração dos resíduos sólidos domiciliares do município de Teresina/PI, foi adotada a setorização com base nos indicadores socioeconômicos e de consumo, agrupando setores de coleta. O estudo contribuiu para direcionar a abordagem mais especificamente às características dessas unidades, melhorando assim a eficiência e a parte operacional da gestão, como a escolha do sistema de coleta, mecanismos de aproveitamento, sistema de tratamento e destinação final dos RSD (SOUSA, 2018).

Portanto, a gestão dos resíduos sólidos representa um dos pilares fundamentais da proteção ambiental. Além de reprimir os impactos e a degradação ambiental, a recuperação do resíduo sólido é um ativo econômico que movimenta

um mercado em expansão. O aumento da população e o aumento da renda geram o aumento do consumo e a crescente geração de resíduos (GIL, 2016).

Assim, caso o valor dos investimentos na infraestrutura de todas as etapas de gerenciamento do RSU não seja apropriado, o crescimento econômico pode impactar negativamente a sociedade, por limitações no serviço de coleta dos resíduos sólidos. Em vista disso, como serviço essencial, o gerenciamento da produção de resíduos sólidos deve ser agregado continuamente à gestão pública, independente da esfera e dos períodos de mandatos políticos (DIAS; MARTINEZ; BARROS, 2014).

7.3 Ressignificação ambiental

Na Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável - a RIO+20, acontecimento realizado em 2012, com a presença de representantes de diversos países, questionou-se a consistência científica dos impactos ambientais e climáticos, bem como reivindicou-se a proposição de soluções práticas.

O resultado da conferência se encontra na formulação e na definição de conceitos, com a caracterização oficial do conceito de “desenvolvimento sustentável”, que dá sustentação à ideia da resignificação dos conceitos e das práticas ecológicas (MENDONÇA, 2019).

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabelece que resíduo é todo o material, substância, objeto ou bem que já foi descartado, mas que ainda comporta alguma possibilidade de uso, por meio da reciclagem, do reaproveitamento ou do processamento industrial (BRASIL, 2010).

O tema resíduo tem importância social, política e econômica (ASSAD, 2016). A multidisciplinaridade e a abrangência do tema confirmam que o lixo que estamos produzindo é um problema contemporâneo que afeta a todos, mas existem soluções (ASSAD, 2016). A valorização e o tratamento de resíduos conseguem reduzir a quantidade a ser encaminhada para um destino final e sua recuperação energética ganha importância se for analisado o cenário de demanda de energia elétrica no Brasil (MANNARINO *et al.*, 2016).

A ressignificação e a valorização dos resíduos urbanos como um valioso recurso de energia renovável são promissoras e sustentáveis. Além de produzirem biogás, podem reduzir a quantidade de resíduos despejados em aterros sanitários (MOYA *et al.*, 2017). Corroborando, Winquist *et al.* (2019) argumentam que, em todo mundo, fontes de energia renováveis estão sendo promovidas como resposta à crescente preocupação com as mudanças climáticas. Uma das opções é o biogás de aterro sanitário, produzido quando o material orgânico é degradado por microorganismos em condições anaeróbias.

A transformação de resíduos sólidos em energia pode representar uma parcela considerável do balanço energético mundial. Nesse caso, o processamento de RSU adquire particular importância (VLASKIN, 2018). A valorização de resíduos sólidos através da sua conversão em eletricidade, calor ou combustível de veículo fornece uma fonte renovável de energia. Dessa forma, os sistemas de biogás são uma solução de gerenciamento de resíduos que resolvem vários problemas e criam múltiplos benefícios, incluindo fluxos de receita (TANIGAWA, 2017).

Nesse sentido, é necessário considerar formas alternativas de geração de energia proveniente de fontes renováveis sob os aspectos: (i) resíduos sólidos orgânicos, digestão anaeróbia e biogás; (ii) emissão de biogás em aterro sanitário; (iii) modelos empíricos para a previsão de biogás em aterro sanitário.

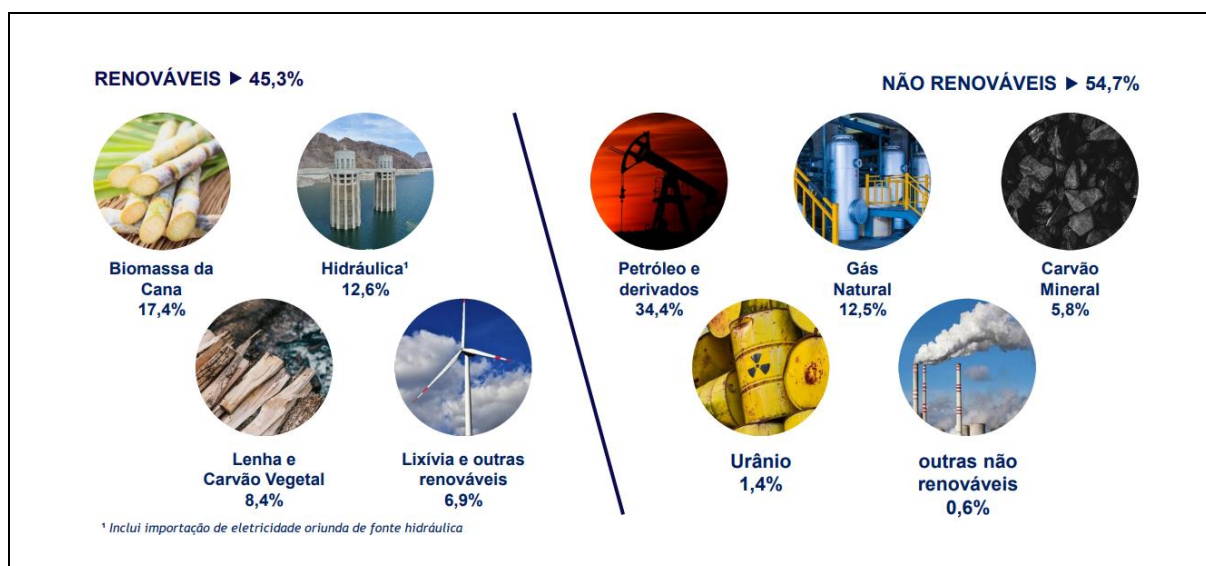
7.3.1 Resíduos sólidos orgânicos, digestão anaeróbia e biogás

A energia primária, que se apresenta de forma bruta, deve ser captada e adaptada para permitir o seu aproveitamento útil, podendo ser usada diretamente ou ser convertida em outra forma de uso. Segundo o Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA (2015), essas formas podem ser divididas em renováveis e/ou não renováveis. Sabe-se que há uma crescente vulnerabilidade nos atuais suprimentos de energia elétrica não renováveis, como o carvão, o petróleo, entre outros. É neste contexto que as fontes alternativas (eólica, solar, biomassa, pequenas centrais hidroelétricas) podem contribuir para a construção de modelos sustentáveis.

O Brasil apresenta uma situação privilegiada em termos de fontes de energias

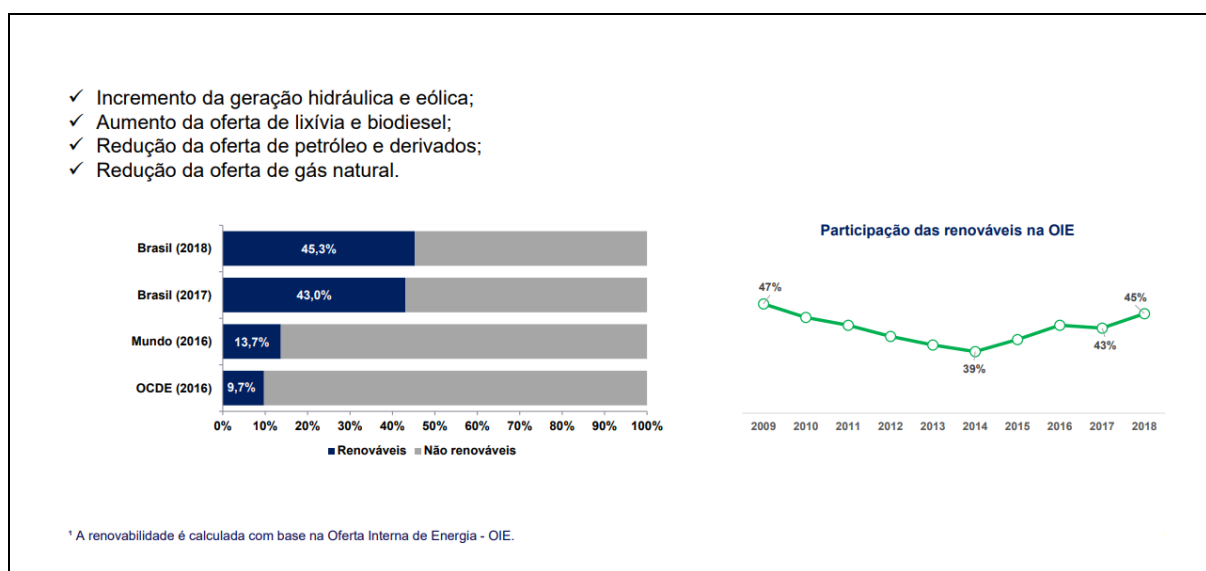
renováveis, que, somadas à energia hidráulica, totalizam 45,3% da oferta interna de energia do país (FIGURA 2), enquanto a média mundial considerando “outros” como renováveis é de 13,7% (FIGURA 3). Apesar de o consumo de energia de fontes não renováveis ser maior que as de fontes renováveis, no Brasil, utilizam-se mais fontes renováveis do que no resto do mundo (EPE, 2018).

Figura 2 - Oferta interna de energia do Brasil



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2018).

Figura 3 - Participação de fontes renováveis na matriz energética



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2018).

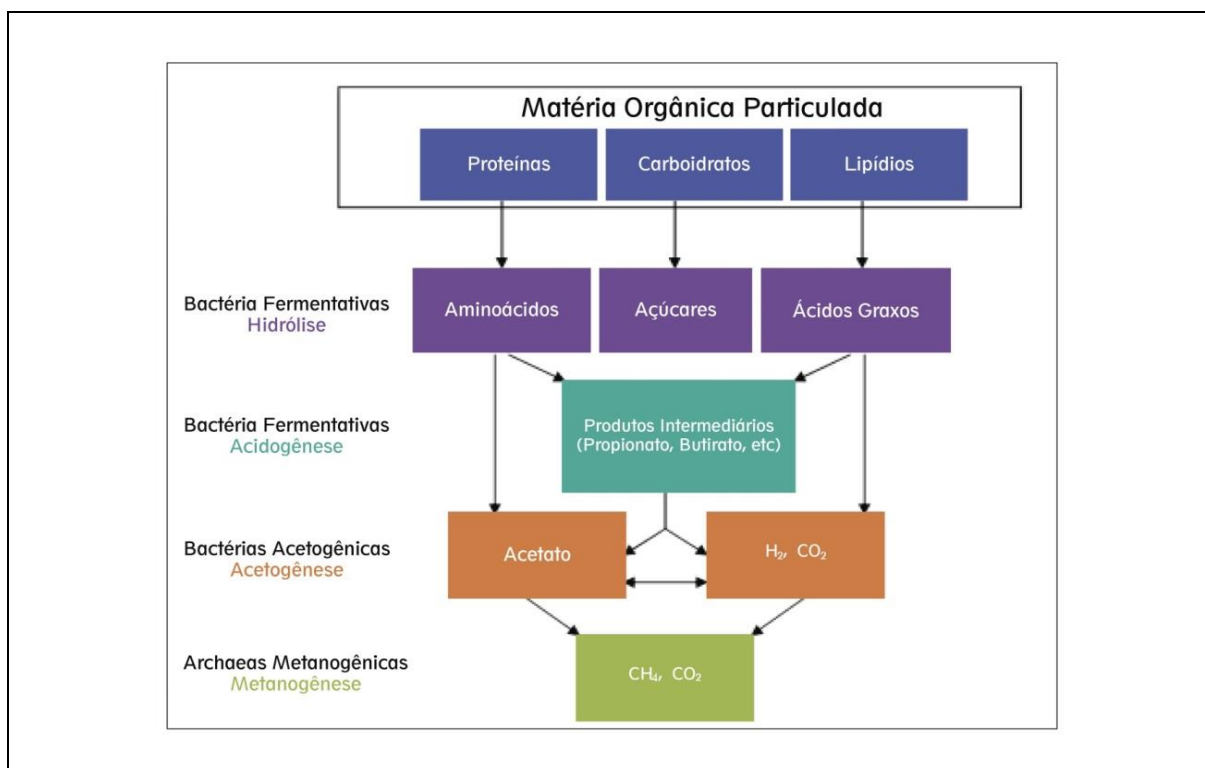
Os resíduos sólidos urbanos são de grande importância para a geração de energia a partir do gás metano. O Serviço Brasileiro de Apoio as Micro e Pequena Empresas - Sebrae (2015) aponta que o movimento crescente em favor de

processos e produtos que privilegiam tecnologias limpas e ambientalmente sustentáveis vem para minimizar danos ambientais e reduzir resíduos e dejetos dos processos produtivos, à medida que se adotam tecnologias mais integradas e mais econômicas. Observa-se que, no Brasil, os resíduos sólidos urbanos são destinados: (i) a vazadouros a céu aberto, proibidos por lei; (ii) a aterros controlados, que não possuem princípios de engenharia, nem sistemas de drenagem e/ou tratamento de lixiviados, apenas uma camada de cobertura usando solo, cerca e guarita; (iii) a aterros sanitários, que possuem princípios técnicos de engenharia – ambientais e legais –, o que os tornam alternativas bem-sucedidas, devido aos investimentos e aos custos de operação relativamente baixos para a disponibilização de resíduos sólidos urbanos. Ainda, facilitam a recuperação do gás de aterro, devido às técnicas de operação utilizadas. Dessa forma, “o potencial inexplorado do biogás de aterro no Brasil [...] pode ser maior com estratégias conjuntas para o manejo de MSW, usando aterros sanitários em vez de despejos abertos” (LIMA *et al.*, 2018, p. 11).

O tratamento dos resíduos sólidos e a sua valorização são questões que devem ser discutidas nas pautas principais das políticas públicas governamentais. Aterros sanitários e incineração são os métodos de tratamento mais utilizados, pois “a digestão anaeróbia aparece como um processo industrial eficaz e amigável ao meio ambiente que permite ao mesmo tempo a valorização dos resíduos como biogás e digestor” (CAPSON-TOJO *et al.*, 2017, p. 470).

Luz *et al.* (2015) destacam que aterros sanitários estão presentes em vários países, como a principal opção para o tratamento de resíduos sólidos. Os autores argumentam que a dependência dos aterros sanitários é atribuída aos custos elevados das alternativas de tratamento e eliminação. “No entanto, para determinar a rota ideal de biocombustíveis e eletricidade e a conversão de resíduos em energia, deve ser realizada uma análise da avaliação do impacto ambiental” (LUZ *et al.*, 2015, p. 321). A digestão anaeróbia é capaz de limitar a emissão de gases de efeito estufa, em comparação aos sistemas fósseis padronizados, sendo capaz de aperfeiçoar o delineamento ambiental da rede elétrica nacional (GONZÁLEZ *et al.*, 2020). O método da digestão anaeróbia e, conseqüentemente, a geração de metano pode ser dividido em três fases: hidrólise, acidogênese, metanogênese. Alguns autores caracterizam a digestão anaeróbia em quatro fases distintas: hidrólise, acidogênese, acetogênese, metanogênese (FIGURA 4).

Figura 4 - Esquema da digestão anaeróbia



Fonte: Adaptado de Chemicharo (1997).

O método da digestão anaeróbia foi definido por (FARIA, 2012), em quatro fases:

Hidrólise: conversão de materiais particulados em materiais dissolvidos mais simples pela ação de exoenzimas excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas. Essa fase pode ser afetada por diversos fatores, como, por exemplo: pH e alcalinidade, temperatura, teor de água, concentração de nutrientes (POLPRASERT, 2007).

Acidogênese: os produtos da hidrólise são metabolizados no interior das células das bactérias fermentativas, sendo convertidas em compostos mais simples, como ácidos graxos voláteis, álcoois, ácido láctico, gás carbônico, Acetogênese. As bactérias acetogênicas são responsáveis pela oxidação dos produtos gerados na fase acidogênica, transformando-os em substrato apropriado para as bactérias metanogênicas. Dessa forma, “as bactérias produtoras de hidrogênio transformam os monômeros liberados (aminoácidos, açúcares, ácidos graxos voláteis e álcoois) pela quebra hidrolítica na etapa anterior em acetato, H₂ e CO₂, essenciais à

metanogênese” (POLPRASERT, 2007).

Metanogênese: Essa é a etapa final do processo global de degradação anaeróbia de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono. Segundo Polprasert (2007), é quando ocorre de fato a produção do metano, sendo a principal etapa do processo de digestão anaeróbia. O acetato é responsável por 70% da produção, classificado como o anunciador primário do produto final. O metano restante vem do H_2 e CO_2 .

Ainda, Polprasert (2007) explica que a produção de todo processo está condicionada às condições favoráveis e ao comportamento das bactérias metanogênicas. Caso contrário, haverá pouca produção de CH_4 e a estabilização do digestor não ocorrerá. Em condições ótimas, os metanogênicos estabelecem e neutralizam o pH do digestor transformando os ácidos graxos voláteis em CH_4 e outros gases.

A utilização dos processos anaeróbios para o tratamento de resíduos possui várias vantagens em relação aos processos aeróbios, entre os quais Speece (1996); Braber (1995) destacam os seguintes:

- Aumento da vida útil dos aterros sanitários;
- Retirada da fração orgânica dos RSU, que é a fração que resulta em odores desagradáveis e em geração de lixiviados de alta carga nos aterros;
- Minimização da emissão de gases que aumentam o efeito estufa;
- Possibilidade de coleta de todo o biogás gerado (em aterros o índice de recuperação é de 30 a 40%);
- Geração de produtos valorizáveis: biogás (energia e calor) e composto;
- Poucos requisitos nutricionais para a fase de fermentação;
- Baixo ou nenhum gasto de energia;
- Aplicação de elevadas cargas orgânicas;

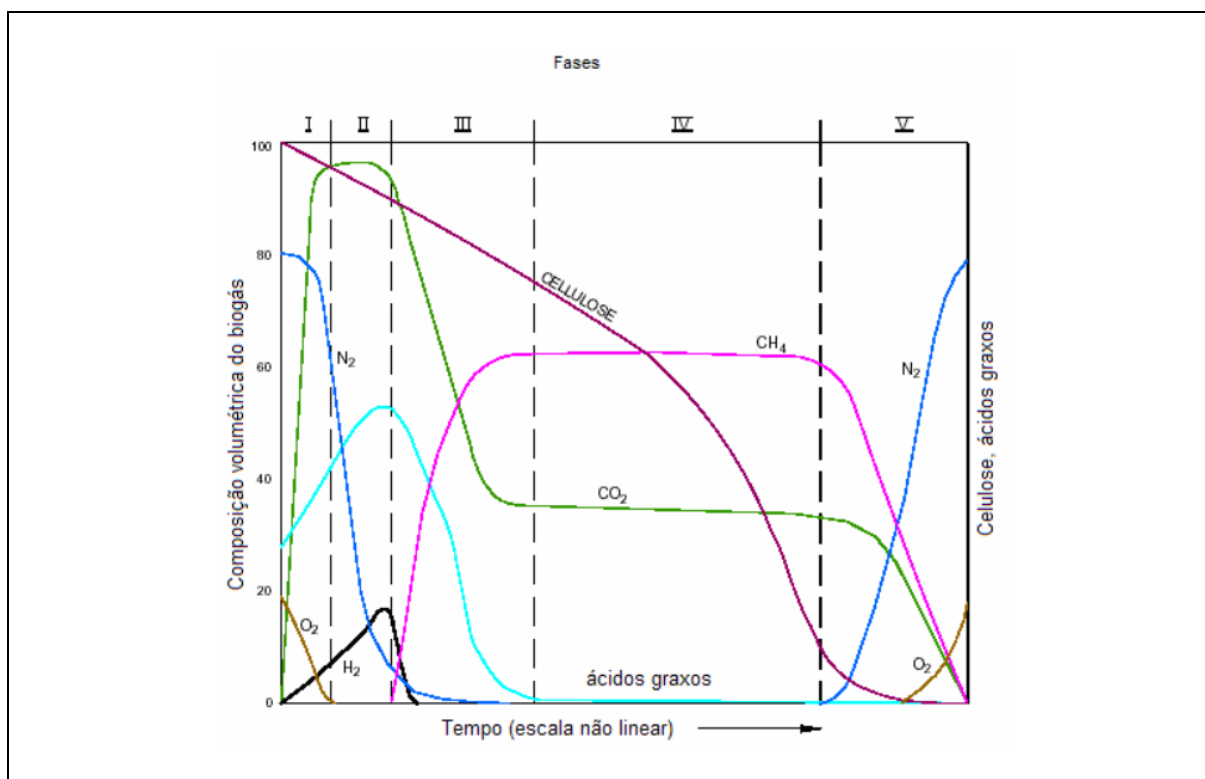
- Não necessita de uma área grande para ser implementado;
- Os microrganismos podem ser preservados sem serem alimentados por mais de um ano, sem grave degradação de sua atividade, o que é muito importante quando o tratamento é aplicado em resíduos provenientes de atividades sazonais.

Speece (1996) e Braber (1995) ainda elucidam que, no tratamento aeróbio, alguns dos compostos orgânicos voláteis podem evaporar antes da biodegradação, o que contribui para o aumento da poluição atmosférica. No entanto, este problema é eliminado com o tratamento anaeróbio. É preciso destacar que a principal vantagem da tecnologia da digestão anaeróbia é, sobretudo, constituir-se de um sistema produtor de energia. Além do mais, contribui para a diminuição dos gases que causam o efeito estufa, por se tratar de uma energia renovável.

7.3.2 Geração, qualidade e quantidade de biogás em aterro sanitário

Borba (2006) descreve a geração de gás em aterros sanitários em cinco fases. A primeira fase acontece quando os resíduos são depositados no aterro e recebem uma cobertura de solo. Na fase seguinte, inicia-se o período anaeróbio, durante o qual o nível de oxigênio diminui e os microrganismos responsáveis pela conversão da matéria orgânica em metano iniciam a formação de outros ácidos e produtos, ou seja, iniciam a decomposição da matéria. Na terceira fase, que antecede a formação de metano, as reações são aceleradas e ocorre a produção de compostos químicos, como o ácido acético. Durante a quarta fase, denominada metanogênica, predominam os microrganismos anaeróbios, que convertem o ácido acético e o hidrogênio em metano e em dióxido de carbono. Com a degradação da matéria orgânica e a produção de metano e de dióxido de carbono, tem início a fase de maturação – a quinta fase do processo. O restante dos resíduos continua no aterro, continua reagindo em taxa inferior de produção de biogás, em comparação à fase inicial, visto que a maior parte dos nutrientes foi consumida nas fases anteriores (FIGURA 5).

Figura 5 - Fases de geração de biogás em aterro sanitário



Fonte: Duarte (2006).

O metano tem origem natural ou antrópica. Suas fontes naturais são provenientes de pântanos e de animais ruminantes, enquanto as antrópicas provêm da extração de combustíveis fósseis, de cultivos agrícolas, da decomposição de dejetos de animais e da deposição de resíduos sólidos em aterros sanitários. Estudos mostram que 60% das emissões globais são oriundas das atividades humanas (EPA, 2016), sendo que cerca de 10 a 20% desse percentual são provenientes de decomposição de resíduos sólidos em aterros (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007).

O gás de aterro contém aproximadamente 50% de metano, que pode ser utilizado para propósitos energéticos. O restante da composição possui cerca de 45% de gás carbônico, 3% de nitrogênio, 1% de oxigênio e 1% de outros gases. Cabe destacar que “[...] as plantas para extração de gás de lixo vêm se desenvolvendo e hoje há mais de 950 plantas pelo mundo” (WILLUMSEN, 1999).

Assim, medições realizadas nos drenos verticais de gases de aterros sanitários são eficientes para analisar a quantidade e a qualidade do biogás em

aterro sanitário. Porém, vários fatores interferem na geração e na composição do biogás, como: implantação e adaptação dos drenos verticais e tubulações, que acabam influenciando o sistema de captação (CANDIANI; TORRES, 2015), como também formato do dreno e a idade de deposição dos resíduos sólidos (AUDIBERT; FERNANDES, 2013).

Diante disso, devem ser considerados os fluxos pela camada de cobertura e os fatores que interferem nesse processo, na fase de operação do aterro sanitário (MOREIRA, 2018). Dessa forma, o biogás produzido nos aterros sanitários, além de ser uma fonte de energia renovável, pode ser uma alternativa para a geração de energia elétrica.

7.3.3 Modelos empíricos para a previsão de biogás em aterros sanitários

Alternativas para a redução de emissão de Gases de Efeito Estufa - GEE e, conseqüentemente, do aquecimento global podem ser conduzidas pela determinação do uso de métodos adequados para a emissão de metano em aterros sanitários (MBOOWA, 2017). Contudo, algumas variáveis afetam a geração de metano em aterros sanitários, entre as quais, as seguintes: a natureza dos resíduos, o seu grau de umidade, seu estado físico, seu pH, a temperatura, os nutrientes e as taxas de oxigenação (CASTILHOS *et al.*, 2003). Existe, ainda, uma relação entre as variáveis, devido “[à] composição de resíduos, [ao] teor de umidade e [à] emissão de metano no aterro sanitário” (MBOOWA *et al.*, 2017, p. 12). O processo de digestão anaeróbia depende desses fatores para o seu desenvolvimento.

Tendo em vista sua amplitude, o gerenciamento de resíduos sólidos ainda tem lacunas, o que decorre da falta de tratamento, da segregação, da reciclagem e do destino correto. Observa-se, portanto, que “a política adequada deve basear-se no princípio do desenvolvimento sustentável” (RAMACHUNDRA *et al.*, 2018, p. 1123).

Devido à escassez de combustíveis fósseis, aumentam as preocupações pela busca de alternativas energéticas. Uma delas é o uso de biomassa, decorrente dos resíduos sólidos urbanos - RSU, dentre outras fontes de energias sustentáveis existentes. Desse modo, “o alcance para a mitigação de GEE é através da

recuperação e da conversão de componentes orgânicos em energia” (WANG *et al.*, 2017). Assim, os resíduos sólidos urbanos podem ser utilizados como combustível para a produção de energia. Entre os métodos de análise de geração de metano em aterros sanitários destacam-se:

- Emkes, Conlon e Wagland (2015) usaram, em um aterro do Reino Unido, “uma ferramenta de apoio à decisão para geração de metano e coleta de gás”, ou seja, uma técnica que visa à: (i) pontuação de produção de metano e medição do desvio da taxa de saída de metano real e do desvio de cada local, de acordo com a predição gerada pelo modelo de desintegração de primeira ordem (Landgem-Usepa); e (ii) pontuação de indicadores de gases do aterro, considerando o desvio de gás do aterro em condições ideais de geração de metano (umidade, temperatura, etc.). Os resultados são classificados como bom, médio e/ou pobre, em um período de um ano.
- Karanjekar *et al.* (2015), num estudo nos Estados Unidos da América, elaboraram a “estimativa de emissões de metano dos aterros com base em precipitação, temperatura, ambiente e composição dos resíduos”, usando o modelo Cleen, cujos princípios são a temperatura e a precipitação. Nesse estudo, foram comparados seis aterros do país, entre os quais apenas quatro ficaram próximos do ideal.
- Aydi *et al.* (2015), em estudo realizado em Jebel Ehakis, na Tunísia, com o título, “Avaliação potencial de geração de energia elétrica e viabilidade da coleta de gás de emissões fugitivas em aterro sanitário”, analisaram um aterro cuja área era de 124 ha e recebia 1800 t/dia de resíduos de três municípios próximos. Os autores utilizaram três modelos de análise: (i) o de primeira ordem (TNO), também chamado Landgem-Usepa, baseado no efeito do envelhecimento dos resíduos; (ii) o modelo mexicano de equação de decaimento, que considera o pico de geração de metano; (iii) o Landgem-Usepa, para análise de massa de metano gerada em relação aos resíduos depositados. Destaca-se que é necessário o uso de mais de um modelo para resultados mais precisos.

- Pinãs *et al.* (2016), em estudo realizado em Três Corações, Minas Gerais, Brasil, sob o título, “Aterro Sanitário para geração de energia elétrica a partir da geração de biogás no Brasil: comparação dos modelos LandGEM (EPA) e Biogás (Cetesb)”, considerando o índice de geração *per capita* de RSU, a projeção da população com uma taxa de crescimento *per capita* de 1% anual e a vida útil do aterro, fazem projeções da quantidade de biogás gerada ao longo da vida útil do aterro sanitário.

Assim, é imprescindível a aplicação de modelos matemáticos para determinar a viabilidade de sistemas de aproveitamento de biogás (FREIRE, 2018). Os sistemas de recuperação de gás de aterro e outras tecnologias são necessários. Da mesma forma, devem ser verificados diferentes modelos matemáticos, que podem melhorar as taxas de emissão de gás de aterro (MAJHI *et al.*, 2016). Dessa forma, essas tendências surgem visando aproveitar o biogás de aterro sanitário para gerar energia de forma sustentável.

7.4 Estado da arte “energia sustentável e limpa”: biomassas de resíduos sólidos de aterro sanitário

A decomposição natural do material orgânico resulta na produção de biogás através do processo anaeróbico. Dessa forma, “a digestão converte o material orgânico em biogás, um combustível renovável que pode ser usado para produzir eletricidade, calor ou como combustível para veículos” (SCARLAT; DALLEMAND; FAHI, p. 458, 2018). Assim, há grande possibilidade de uso do biogás para a geração de energia renovável com vários tipos de resíduos.

Segundo Bley Júnior *et al.* (2009), a energia da biomassa residual pode ser armazenada na forma de biogás e transformada em energia elétrica, térmica e veicular. Segundo Hakawati *et al.* (2017), muitos países europeus integraram com sucesso o biogás em seus setores de energia por meio de diferentes rotas de utilização, destacando-se:

- Eletricidade e geração de calor: a cogeração tem recebido maior atenção

devido à sua capacidade de produzir dois produtos úteis com perdas mínimas, a saber: o calor (até 180°C) e a eletricidade. A eficiência de uma unidade de cogeração é classificada em 90% (40% elétrica e 50% térmica), se o calor gerado no processo for suprido a uma demanda de calor adequada.

- Elétrico: a rota que o biogás segue pode ser direta, correspondendo ao uso de biogás bruto em uma usina ou unidade de cogeração, ou indireta, requerendo processamento intermediário.
- Veicular: para uso de biometano, compressão para GNV ou liquefação para GNL, a rota precisa ser realizada no sentido de permitir que combustível suficiente seja transportado no veículo. O biometano comprimido tem uma eficiência comparável à de um veículo movido a gasolina.

Na Ásia e na África, a organização holandesa SNV (Organização de Desenvolvimento da Holanda) tem dado suporte ao uso de energias renováveis, principalmente, por meio de programas de uso doméstico do biogás (LIM, 2016). Em 14 países destes continentes, foram instaladas mais de 299 mil plantas domésticas, produzindo diariamente 600 mil m³ de biogás. A China conta com um forte suporte estatal financeiro para a produção de biogás (GHIMIRE, 2013).

O número de usinas de biogás na Europa aumentou muito nos últimos anos. Entre 2009 e 2016, o número total de usinas de biogás foi ampliado de 6.227 para 17.662 instalações. A maior parte desse crescimento deriva do aumento de plantas em substratos agrícolas, seguidas por usinas de biogás em lodo de esgoto e resíduos de aterros, entre outros tipos de resíduos (EBA, 2017). Auer *et al.* (2017) sugerem que a Alemanha lidera o mercado europeu de biogás. Em 2008, o país era responsável por 49% de toda a produção de biogás da União Europeia (SORDA *et al.*, 2013). No entanto, alguns países aumentaram seus mercados de biogás com um número considerável de novas instalações, como a Inglaterra (Reino Unido), França e Bélgica (EBA, 2017).

A Europa se destaca com um grande número de usinas comerciais de biogás e grande capacidade total de eletricidade. “No entanto, apesar do elevado potencial

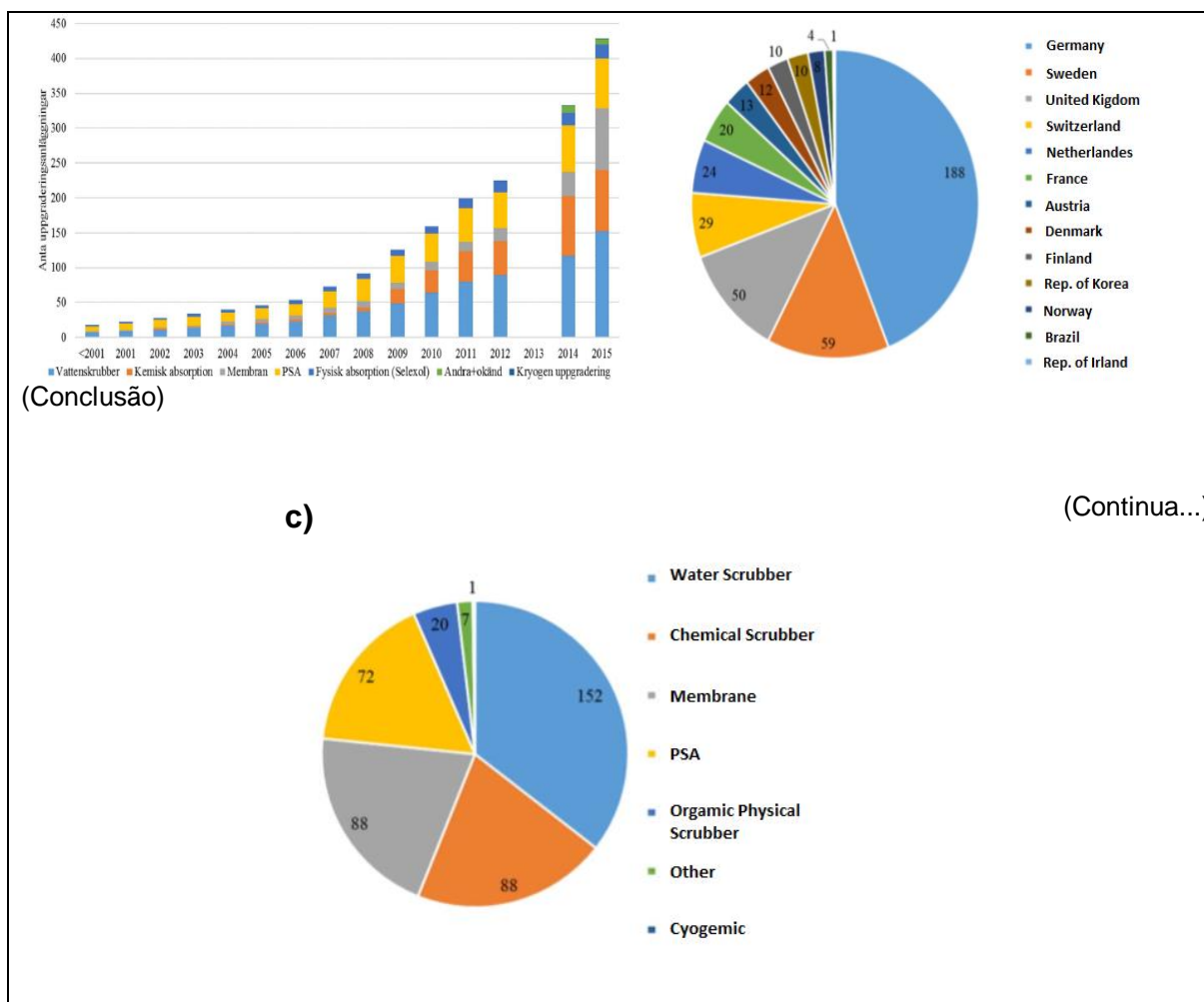
existente, a produção de biogás ainda é baixa em muitos países europeus e o potencial, em grande parte, não [é] utilizado” (SCARLAT; DALLEMAND; FAHI, 2018, p. 469).

Atualmente, “existem várias tecnologias de atualização comercial, disponíveis” para o uso do biogás (ANGELIDAKI *et al.*, 2017, p. 453). A Figura 6 apresenta as tecnologias de purificação de biogás, pois unidades de atualização de biogás são encontradas na Europa (FIGURA 6a). A maioria das fábricas de biometanização está na Alemanha e em outros países europeus, como a Suécia, a Inglaterra e a Suíça (FIGURA 6b). Hoje em dia, existem 5 tecnologias físico-químicas para separação de CO_2 , partindo do CH_4 , em nível de prontidão comercial (FIGURA 6c), envolvendo processos de absorção, adsorção, separação por membrana, criogênicos ou por hidrogenação química (ANGELIDAKI *et al.*, 2017, p. 453).

Muitos países já transformam o biogás em biometano, pois “[a] modernização do biogás e a produção de biometano oferecem novas oportunidades para o uso do biogás e para a substituição de combustíveis fósseis” (SCARLAT; DALLEMAND; FAHI, 2018, p. 471). Os métodos físico-químicos são os mais usados e de mais alta tecnologia. Já os métodos biológicos são novos; por isso, ainda não estão disponíveis no mercado. No entanto, eles oferecem um enorme potencial em termos de viabilidade, facilidade tecnológica e potencial (ANGELIDAKI *et al.*, 2017, p. 464).

Figura 6 - Desenvolvimento de tecnologias de atualização de biogás distribuídas de acordo com países e anos: a) número de plantas de biometano em operação; b) localização de plantas de biometano existentes; e c) distribuição de tecnologias comerciais aplicadas

a)	b)
-----------	-----------



Fonte: Os dados estão de acordo com a Tarefa 37 da IEA Bioenergy, conforme Hoyer *et al.* (2016) e a Associação Europeia de Biogás.

O fator preponderante para o desenvolvimento da produção do biogás é a economia. É considerável o potencial do biogás para o balanceamento de rede para eletricidade ou rede de gás natural, “permitindo a integração de maiores parcelas de fontes de energia renováveis variáveis, como solar e eólica, na rede elétrica” (SCARLAT; DALLEMAND; FAHI, 2018, p. 471). Assim, a melhora das tecnologias de uso do biogás poderá intensificar o uso, “o que poderia tornar o custo do biometano competitivo com o uso de combustível fóssil no transporte” (SCARLAT; DALLEMAND; FAHI, 2018, p. 471). Desse modo, a busca por alternativas ambientalmente sustentáveis apresenta-se como ponto central nas discussões de políticas de governo e de pesquisas em nível industrial e acadêmico. Por conseguinte, o biogás é uma fonte de energia renovável, pois é gerado “a partir da digestão anaeróbica da biomassa, como lodo de esgoto, resíduos sólidos urbanos, resíduos agrícolas” (HAKAWATI *et al.*, 2017, p. 1076). É preciso haver uma interdisciplinaridade que não incorpore apenas energias, mas também a tríade de

questões ambientais, tecnológicas e socioeconômicas (HAKAWATI *et al.*, 2017).

Segundo Ferreira *et al.* (2018), o Brasil está começando a explorar o biogás como fonte renovável de energia. Os resíduos sólidos urbanos-RSU estão entre as fontes primárias para produção de biogás, que terá papel importante nos próximos anos. No Brasil, dos resíduos sólidos coletados, apenas 58,4% são classificados como aterro sanitário; os 41,6% restantes são enviados para aterros ou aterros controlados (PRS, 2013). O Brasil possui um “potencial inexplorado de biogás [...], que pode ser maior com estratégias conjuntas de gerenciamento de RSU, usando aterros sanitários em vez de lixões abertos” (LIMA *et al.*, 2018, p. 333). Portanto, a produção de energia renovável a partir do biogás de resíduos sólidos urbanos é uma alternativa para a diversificação da matriz energética brasileira. Dessa forma, “pode-se observar que a geração de energia elétrica por meio do biogás ainda não é muito representativa no país, com menos de 0,05% de participação” (FERREIRA *et al.*, 2018, p. 449).

Ferreira *et al.* (2018) alegam que o motivo da pouca representatividade da geração de energia a partir do biogás é a falta de leis e regulamentações específicas do setor no Brasil, o que impede produtores e consumidores de utilizarem a cadeia de biogás. Os autores alertam, ainda, que “este cenário, no entanto, está perto de ser modificado” (FERREIRA *et al.*, 2018, p. 449).

Contudo, a biomassa dos resíduos sólidos de aterros sanitários torna-se importante como fonte de energia renovável na matriz energética brasileira. Destarte, as energias renováveis surgem como novas tecnologias em direção ao processo de produção de produtos e serviços ecologicamente corretos, socialmente justos e economicamente viáveis (WANG *et al.*, 2017).

8 CONCLUSÕES

Os resultados apresentados nesta pesquisa, especificamente nesta seção, contemplam o objetivo geral de analisar a emissão de biogás na superfície do aterro sanitário de Maceió, considerando os resíduos sólidos de origem doméstica e sua caracterização, com investigações *in loco* e laboratorial. Da mesma forma, buscou-se responder aos quatro objetivos específicos, que intermediaram os cinco artigos científicos apresentados no decorrer desta tese.

Para a obtenção de dados mais precisos sobre resíduos, destaca-se a importância de realizar estudos com base nos relatórios gerados por ocasião da chegada dos caminhões na balança do aterro, com base nas regiões administrativas, a partir de roteiros de coleta. Verificou-se uma média predominante de resíduos orgânicos de 67,45%. Constatou-se também uma diferença nos percentuais de materiais recicláveis, nos períodos secos e chuvosos, com predominância desses materiais nos períodos secos. Evidenciam-se também diferenças relacionadas à sazonalidade e aos eventos festivos.

A pesquisa evidenciou a importância de estudos com base no estrato socioeconômico dos bairros, identificando o percentual de resíduos orgânicos, recicláveis, rejeitos e geração *per capita*. Verificou-se que a fração orgânica foi maior em regiões que abrangem bairros com estratos socioeconômicos predominantemente mais baixos. Por outro lado, em termos de geração *per capita*, a geração é menor em bairros com estratos predominantemente mais baixos e maior, em regiões com estratos socioeconômicos mais altos. Deste modo, evidencia-se a

importância de estudos sobre a composição dos resíduos de forma discretizada, por região e estratos socioeconômicos.

Na sequência, buscou-se identificar o potencial de geração de biogás dos resíduos do aterro sanitário. Nesta análise, destaca-se que o ensaio de digestão anaeróbia do RSOD apresenta um bom desempenho. Evidenciou-se a facilidade de os micro-organismos assimilarem este substrato, já que o período de incubação foi de 17 dias. Além disso, destaca-se que o RSOD apresenta potencial energético para uso como substrato em biodigestores anaeróbios.

O estudo também contribui para a estimativa de CH_4 , através de drenos verticais em aterro sanitário. O estudo mostrou que a vazão do biogás é diferente nos drenos e que o biogás possui composição satisfatória (56,86 % de metano), para poder contabilizar um possível aproveitamento energético.

Foi avaliado o potencial de geração do biogás do aterro sanitário, por meio do modelo cinético de primeira ordem recomendado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, comparando os dados empíricos a partir dos drenos verticais. O estudo mostrou que a produção de biogás acumulada em 20 anos com o modelo LandGEM foi $15.116.325 \text{ Nm}^3$, com uma energia acumulada de 128,68 GWh e potência média de geração de 242 kW. Para o modelo Biogás, a produção acumulada é de $15.981.110 \text{ m}^3$, com uma energia acumulada de 141,31 Gwh e uma potência média de geração de 255 kW.

Em suma, evidenciou-se que os resíduos de origem doméstica do aterro sanitário de Maceió possui composição satisfatória para aproveitamento energético. Contudo, identificaram-se alguns pontos a serem trabalhados, como: investimento na educação básica e superior, preservação e utilização sustentável dos recursos naturais, informação e promoção do bem-estar social, promovendo condições humanitárias, considerando o descarte e a separação adequada de resíduos sólidos domiciliares, a qual merece destaque. O Incentivo a educação ambiental e a adoção de políticas públicas, para o setor de energias renováveis é de fundamental importância, para sua efetivação.

REFERÊNCIAS

ANGELIDAKI, I.; TREU, L.; TSAPEKOS, P.; LUO, G.; CAMPANARO, S.; WENZEL, Henrik; KOUGIAS, Panagiotis G. Biogas upgrading and utilization: Current status and perspectives. **Biotechnology Advances**, [s.l.], v. 36, 2. ed. p. 452-466, mar./abr. 2018.

ASSAD, L. Apresentação - Lixo: uma ressignificação necessária. **Cienc. Cult.**, [s.l.], v. 68, n. 4, p. 22-24, out./dez. 2016.

AUDIBERT, J.; FERNANDO, F. Preliminary qualitative and quantitative assessment of gases from biodigestion of solid wastes in the landfill of Londrina, Paraná State, Brazil. **Acta Scientiarum. Technology**, [s.l.], v. 35, n. 1, p. 45-52, 2013.

AUER, A.; VANDE, B.; NATHAN, H.; ABRAM, F.; BARRY, G.; FENTON, O.; MARKEY, B. K.; NOLAN, S.; RICHARDS, K.; BOLTON, D.; WAAL, T.; GORDON, S. V.; O'FLAHERTY, V.; WHYTE, P.; ZINTL, A. Agricultural anaerobic digestion power plants in Ireland and Germany: policy and practice. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [s.l.], v. 97, n. 3, p. 719-723, 2017.

AYDI, A.; ABICHOU, A.; ZAIRI, M.; SDIRI, A. Assessment of electrical generation potential and viability of gas collection from fugitive emissions in a Tunisian landfill. **Energy Strategy Reviews**, [s.l.], v. 8, p. 8-14, 2015.

BLEY JÚNIOR, C.; LIBANIO, J. C.; GALINKIN, M.; OLIVEIRA, M. M. **Agroenergia da Biomassa Residual**: perspectivas energéticas, ambientais e socioeconômicas. 2. ed. Itaipu Binacional. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura/FAO. [s.l.]: Techno Politik, 2009.

BORBA, S. M. P. **Alises de modelos de geração de gases de aterro sanitário**: estudo de caso. 2006. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

BRABER, K. Anaerobic digestion of municipal solid waste: a modern waste disposal option on the verge of breakthrough. **Biomass and Bioenergy**, [s.l.], v. 9, n. 1-5, p. 365-376, 1995.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Altera a Lei nº. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília: Câmara dos Deputados, n. 81, 2010.

BRASIL. Lei nº12305/10. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, DF, n. 147, 03 ago. 2010. Seção I, p. 3-7. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 10 mai. 2018.

BRASIL. **Política Nacional de Saneamento Básico**. Lei nº 11.445/2007. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2007/lei-11445-5-janeiro-2007-549031-normaatualizada-pl.html>. Acesso em: 11 out. 2018.

BURROUGH-BOENISCH, Joy. PhD thesis: Being more open about PhD papers. **Nature**, [s.l.], v. 536, n. 7616, p. 274, 2016. doi: 10.1038/536274b. Acesso em: 10 mai. 2018.

CANDIANI, G.; TORRES, D. C. Análise qualitativa e quantitativa da produção de biogás em aterro sanitário. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, Aquidabã, v.6, n.1, p. 285-292, 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2015.001.0022>. Acesso em: 10 mai. 2018.

CAPSON-TOJO, G.; ROUEZ, M.; CREST, M.; TRABLY, E.; STEYER, J-P.; BERNET, N.; DELGENÉS, J-P.; ESCUDIÉ, R. Kinetic study of dry anaerobic co-digestion of food waste and cardboard for methane production. **Waste Management**, [s.l.], v. 69, p. 470–479, 2017.

CASTILHOS JÚNIOR, A. B.; LANGE, L. C.; GOMES, L. P.; PESSIN, N. **Resíduos sólidos urbanos**: aterro sustentável para municípios de pequeno porte. Rio de Janeiro: ABES/RiMa, 2003. 294 p.

CAVALCANTE, S.; FRANCO, M. F. A. Profissão perigo: percepção de risco à saúde entre catadores do Lixão do Jangurussu. **Revista Mal-Estar e Subjetividade**, Fortaleza, v. 7, n. 1, p. 211-231, mar. 2007.

CHERNICHARO, C.A.L. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. **Reatores Anaeróbios**. Belo Horizonte: Segrac, 1997. v. 5. 246 p.

DIAS, D. M.; MARTINEZ, C. B.; BARROS, R. T. V. Estimativa da geração de resíduos sólidos urbanos como subsídio para ações voltadas à sustentabilidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, [s.l.], n. 33, p. 13-22, set. 2014.

DUARTE, A. C. **Projetos de MDL em Aterros Sanitário no Brasil**: Alternativas para o Desenvolvimento Sustentável. 2006. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação de Engenharia e Recursos Hídrico e Ambiental. Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

EMKES, H.; COULON, F.; WGLAND, S. A decision support tool for landfill methane generation and gas Collection. **Waste Management**, [s.l.], v. 43, p. 307-318, 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/abcdnenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 29 jul. 2020.

ENGELMANN, P. M.; SANTOS, G. H. A.; ROCHA, P. R.; LOUREGA, R. V.; LIMA, J. A. **Avaliação da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Xangrilá**. Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais - IBEAS. In: II CONGRESSO SUL-AMERICANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E SUSTENTABILIDADE. Foz do Igauçu, PR, 28 a 30 mai. 2019.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. **Methane, 2016**. Disponível em: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>. Acesso em: 30 mai. 2018.

EUROPEAN BIOGAS ASSOCIATION - EBA. **EBA Biomethane & Biogas Report**. 2017. Disponível em: <http://european-biogas.eu/2017/12/14/eba-statistical-report-2017-published-soon/>. Acesso em: 10 out. 2018.

FARIA, R. A. P. **Avaliação do potencial de geração de biogás e de produção de energia a partir da remoção da carga orgânica de uma estação de tratamento de esgoto** – Estudo de caso. 2012. 76f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. Cascavel, PR, 2012.

FEITOSA, A. K.; BARDEN, J. E.; KONRAD, O. Educação Ambiental: uma Experiência com Resíduos Sólidos Domiciliares. **Revbea**, São Paulo, v. 12, n. 2 p. 178-183, 2017.

FEITOSA, A. K.; BARDEN, J. E.; KONRAD, O. A relação entre a geração de resíduos sólidos domiciliares e os estratos socioeconômicos. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [s.l.], v. 9, n. 4, p. 380-392, abr./mai. 2018.

FEITOSA, A. K.; BARDEN, J. E.; KONRAD, O. Análise Gravimétrica na Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Revisão Sistemática. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, Campos dos Goytacazes, RJ, v. 12, n. 1, p. 131-146, jan./jun. 2018.

FERREIRA, I. J. S.; GONÇALVES, E.; RODRIGUES, H. S.; AMORIM, M. C. C. Caracterização física dos resíduos sólidos domésticos e dimensionamento de área para aterro sanitário no município de Sobradinho-BA. **Tecno-Lógica**, [s.l.], v. 23, n. 1, p. 49-58, jan./jul. 2019.

FERREIRA, L. R. A.; OTTOA, R. B.; SILVA, F. P.; SOUZA, S. N. M.; SOUZA, S. S.; ANDO JUNIOR, O.H. Review of the energy potential of the residual biomass for the distributed generation in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 94, p. 440-455, 2018.

FRANK, A. G. Formatos alternativos de teses e dissertações. **Blog Ciência Prática**, [s.l.], 2013. Disponível em: <https://cienciapratica.wordpress.com/2013/04/15/formatos-alterativos-de-tesesedissertacoes/>. Acesso em: 17 abr. 2020.

FREIRE, V. H. N. **Estimativa do potencial de produção de biogás em um aterro sanitário para aproveitamento energético**. 2018.102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.

FRIAS, J. F. **Proposta de um biodigestor para geração de energia a partir dos resíduos orgânicos do restaurante universitário** - campus A. C. Simões. 2016. 66f. Dissertação (Mestrado em Energia da Biomassa) - Universidade Federal de Alagoas, 2016.

GHIMIRE, P. C. SNV supported domestic biogas programmes in Asia and Africa. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 49, p. 90–94, 2013.

GIACCOM-RIBEIRO, B. M.; MENDES, C. A. B. Avaliação de parâmetros na estimativa da geração de resíduos sólidos urbanos. **R. bras. Planej. Desenv.**, Curitiba, Edição Especial Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, v. 7, n. 3, p. 422-443, ago. 2018.

GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas Novo, 2008. 220p.

Gil, M. D. M. **Relações entre fatores socioeconômicos e a geração de resíduos sólidos domiciliares de Vacaria**. 2016. 142f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais, Caxias do Sul, 2016.

GONZÁLEZ, L. M. L.; REYES, I. P.; GARCIGA, J. P.; BARRERA, E. L.; ROMERO, O. R. Energetic, economic and environmental assessment for the anaerobic digestion of pretreated and codigested press mud. **Waste Management**, [s.l.], v.102, p. 249-259, 2020.

GRANZOTTO, F.; SCHERER, M. J.; BRACHER, E. H. Tratamento do Resíduo Orgânico Residencial Urbano Através da Digestão Anaeróbia. **Scientia cum indústria (Sci. cum ind.)**, [s.l.], v. 4, n. 2, p. 131-134, 2016.

HAKAWATI, R.; SMYTH, B. M.; MCCULLOUGH, G.; ROSA, F.; ROONEY, D. Rooney. What is the most energy efficient route for biogas utilization: Heat, electricity or transport? **Applied Energy**, [s.l.], v. 206, p. 1076-1087, nov. 2017.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

KARANJEKAR, R. V.; BHATT, A.; SALTOUQUI, A.; JANGIKHATOONABAD, N.; DURAI, V.; HOSSAIN, M. L. S.; M.D. S.; CHEN, V. Estimating methane emissions from landfills based on rainfall, ambient temperature, and waste composition: The Cleen model. **Waste Management**, [s.l.], v. 46, p. 389-398, 2015.

KONRAD, O.; CALDERAN, T. B.; SCHMEIER, N. P.; CASARIL, C. E.; LUMI, M. Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Destinados para uma Central de Triagem, Compostagem e Disposição Final. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, Aquidabã, v. 5, n. 1, dez. 2013; jan./fev./mar./abr./mai. 2014.

KONRAD, O.; CASARIL, C. E.; SCHMITZ, M. Estudo dos Resíduos Sólidos Domésticos de Lajeado/RS pela Caracterização Gravimétrica. **Revista Destaques Acadêmicos**, [s.l.], ano 2, n. 4, 2010.

LIM, X. Uphill climb for biogas in Asia. **Chemical and Engineering News**, [s.l.], v. 94, n. 19, p. 20-22, 2016.

LIMA, R. M.; SANTOS, A. H. M. S.; PEREIRA, C. R.S. P.; FLAUZINO, B. K. F.; PEREIRA, A. C. O.S. P.; NOGUEIRA, F. J.H. N.; VALVERDE, J. A. R. Spatially Distributed Potential of Landfill Biogas Production and Electric Power Generation in Brazil. **Waste Management**, [s.l.], v. 74, p. 323-334, 2018.

LUZ, F. C.; ROCHA, M. H.; LORA, E. E. S.; VENTURINI, J.; ANDRADE, R. V.; LEME, M. M. V.; OLMO, O. A D. Techno-economic analysis of municipal solid waste gasification for electricity generation in Brazil. **Energy Conversion and Management**, [s.l.], v. 103, p. 321-33, 2015.

MAJHI, B. K.; JASH.T. Estimation of Landfill Gas Generation From Dhapa Landfill. **Indian j. environmental protection**, [s.l.], v. 36, n. 5, p. 353-363, 2016.

MANNARINO, C. F.; FERREIRA, J. A.; GANDOLLA, M. Contribuições para a evolução do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil com base na experiência Européia. **Eng Sanit Ambient**, [s.l.], v. 21, n. 2, p. 379-385, abr./jun. 2016.

MBOOWA, D.; QUERESHI, S.; BHATTACHARJEE.; TONNY, K.; DUTTA, S. Qualitative determination of energy potential and methane generation from municipal solid waste (MSW) in Dhanbad (India). **Energy**, [s.l.], v. 123, p. 386-391, 2017.

MENDONÇA, L. M. O conceito de desenvolvimento sustentável: ressignificação pela lógica de acumulação de capital e suas práticas. Espaço e Economia, **Revista brasileira de geografia econômica**, [s.l.], v. 15, n. 15, p. 1-13, 2019.

MENEZES, R. O.; CASTRO, S. R.; SILVA, J. B. G.; TEIXEIRA, G. P.; SILVA, M. A. M. Análise estatística da caracterização gravimétrica de resíduos sólidos domiciliares: estudo de caso do município de Juiz de Fora, Minas Gerais. **Eng Sanit Ambient**, [s.l.], v. 24, n. 2, p. 271-282, mar./abr. 2019.

MOREIRA, F. G. S. **Emissões fugitivas de biogás em célula de aterro sanitário**. 2018. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) Universidade Federal de Campina Grande, PB, 2018.

MOURA, J. M. B. M.; PINHEIRO, I. G.; CARMO, J. L. Gravimetric Composition of the Rejects Coming from the Segregation Process of the Municipal Recyclable Wastes. **Waste Management**, [s.l.], v. 74, p. 98-109, 2018.

MOYA, D.; ALDÁS, C.; LÓPEZ, G.; KAPARAJU, P. Municipal solid waste as a valuable renewable energy resource: a worldwide opportunity of energy recovery by using Waste-ToEnergy Technologies. **Energy Procedia**, [s.l.], v. 134, p. 286-295, 2017.

NASCIMENTO, M. C. B.; FREIRE, E. P.; DANTAS, F. A. S.; GIANANTE, M.B. Estado da arte dos aterros de resíduos sólidos urbanos que aproveitam o biogás para geração de energia elétrica e biometano no Brasil. **Eng Sanit Ambient**, [s.l.], v. 24, n. 1, p. 143-155, 2019.

NASSI-CALÒ, L. Teses e dissertações: prós e contras dos formatos tradicional e alternativo [online]. **SciELO em Perspectiva**, [s.l.], 2016. Disponível em: <http://blog.scielo.org/blog/2016/08/24/teses-e-dissertacoes-pros-e-contrasdosformatos-tradicional-e-alternativo/>. Acesso em: 17 abr. 2020.

OLIVEIRA, B. O. S.; OLIVEIRA, L.F.; MOURA, D. B. Avaliação da composição gravimétrica dos resíduos sólidos gerados no conjunto Uruapiara do Município de Humaitá-AM. **Scientia Amazônia**, [s.l.], v. 6, n. 2, p. 58-62, 2017.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. **Nações Unidas Brasil**. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/onu-no-brasil/>. Acesso em: 17 ago. 2020.

PIÑAS, J. A. V.; VENTURINI, O. J.; LORA, E. E. S.; OLIVEIRA, M. A.; ROALCABA, O. D. C. Aterros sanitários para geração de energia elétrica a partir da produção de biogás no Brasil: comparação dos modelos LandGEM (EPA) e Biogás (Cetesb). **Rev. Bras. Est. Pop.**, Rio de Janeiro, v. 33, n. 1, p. 175-188, jan./abr. 2016.

POLPRASERT, C. **Organic Waste Recycling: technology and management**. 3. ed. London: IWA Publishing, 2007.

PORTAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS - PRS. Disposição Final Ambientalmente Adequada de Rejeitos, 2013. Disponível em: <https://portalresiduossolidos.com/disposicao-final-ambientalmente-adequada-de-rejeitos/>. Acesso em: 10 ago. 2018.

PROGRAMA DE INCENTIVO ÀS FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA ELÉTRICA - PROINFA. 2015. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/programas/proinfa>. Acesso em: 27 mai. 2018.

RAMACHANDRA, T.V.; BHARATHA, H.A.; KULKARNIA, G.; HAND, S. S. Municipal solid waste: Generation, composition and GHG emissions in Bangalore, India. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 82, p. 1122-1136, 2018.

SANTOS FILHO, D. A.; OLIVEIRA, L. R. G.; SCHIRMER, W. N.; MOTTA SOBRINHO, M. A.; JUCÁ, J. F. T.; VASCONCELOS, T. L. Avaliação da produção de biogás a partir da codigestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e glicerina residual. **BIOFIX Scientific Journal**, [s.l.], v. 3, n. 2, p. 260-266, 2018.

SANTOS, A. A.; PEIXOTO, K. L.G.; Rodrigo TARTARI, OLIVEIRA, B. O. S.; MOTTA SOBRINHO, M.A. Caracterização dos resíduos sólidos gerados na cidade de Humaitá – AM. **Revista EDUCamazônia** - Educação Sociedade e Meio Ambiente, [s.l.], ano 6, v. 10, n. 1, p. 38-48, jun./jul. 2013.

SCARLAT, N.; DALLEMAND, Jean-François.; FAHI, F. Biogas: Developments and perspectives in Europe. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 129, p. 457-472, mar. 2018.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO A MICRO E PEQUENAS EMPRESAS - SEBRAE. **Uso de resíduos e dejetos como fonte de energia renovável**. [s.l.], 2015.

SILVA, C. O.; KONRAD, O.; CALLADO, N. H.; ARAUJO, L. G. S.; HASAN, C. Resíduos sólidos urbanos de Maceió-AL: análise da composição gravimétrica sob influências sazonais. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [s.l.], v. 11, n. 3, p. 426-439, 2020.

SILVA, C. O.; KONRAD, O.; CALLADO, N. H.; MARDER, M.; ARAUJO, L. G. S. Resíduos sólidos orgânicos domésticos como substrato potencial para produção de biogás. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [s.l.], v. 11, n. 2, p. 204-212, 2020.

SILVA, C. O.; KONRAD, O.; CALLADO, N. H.; MARDER, M.; ARAUJO, L. G. S. Geração quantitativa e qualitativa da emissão de biogás no aterro sanitário de Maceió. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [s.l.], v. 11, n. 5, p. 401-408, 2020.

SILVA, L. A.; FARIAS, G. B.L.; LIMA, F. D. M. **Caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do município de Bragança- Pará**. Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais - IBEAS. *In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL*. São Bernardo do Campo, SP, 26 a 29 nov. 2018.

SILVA, T. N.; FREITAS, F. S. N.; CANDIANI, G. Avaliação das emissões superficiais do gás de aterros sanitários de grande porte **Eng. Sanit. Ambient**, [s.l.], v. 18 n. 2, p. 95-104, abr./jun. 2013.

SILVESTRE, V. V. **Levantamento do potencial de geração de biogás de aterro sanitário para aproveitamento sob a forma de energia elétrica**. 2015. 109f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, SC., 2015.

SORDA, G.; SUNAK, Y.; MADLENER, R. An agent-based spatial simulation to evaluate the promotion of electricity from agricultural biogas plants in Germany. **Ecological Economics**, [s.l.], v. 89, p. 43-60, 2013.

SOUSA, A. N. **Indicadores socioeconômicos, geração e composição dos resíduos sólidos domiciliares da cidade de Teresina/PI: uma contribuição para gestão municipal.** 2018. 222f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2018.

SOUZA, A. A.; BARICCATTI, R. A.; SOUZA, S. N. M.; GONGORA, B.; SANTOS, R. F. Potencial de emissão de biogás de célula já finalizada do aterro sanitário municipal de Cascavel - PR. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 8, n. 4, p. 31-40, 2019.

SOUZA, J. A. R.; MOREIRA, D. A.; GUIMARÃES, G. I.; CARVALHO, W. B. Caracterização e influência da sazonalidade na geração de resíduos sólidos em Urutaí-GO. **Multi-Science Journal**, [s.l.], v. 1, n. 1, p. 79-83, 2015.

SPEECE, R. E. **“Anaerobic Biotechnology for industrial wastewaters”**. Nashville, Tennessee: Vanderbilt University, 1996. 393 p.

SPINELLI, R. **Isolamento térmico: aplicação e avaliação de materiais naturais e inovadores para edificações.** 2019. 217f. Tese (Doutorado em Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, out. 2019.

TANIGAWA, S. Biogas: Converting Waste to Energy. **The Environmental and Energy Study Institute (EESI)**, [s.l.], p. 1-6, 2017. Disponível em: www.eesi.org. Acesso em: 18 ago. 2020.

UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI - UNIVATES. Resolução nº 167/Reitoria/Univates, de 10 de dezembro de 2012. **Regimento do Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento da Universidade do Vale do Taquari.** Disponível em: <https://www.univates.br/ppgad/conheca-o-ppgad>. Acesso em: 17 abr. 2020.

VLASKIN, S. M. Municipal solid waste as an alternative energy source. **Proc IMechE Part A: J Power and Energy**, [s.l.], p. 1-10, 2018.

WANG, C.; CHANG, Y.; ZHANG, L.; PANG, M.; HAO, Y. Life-cycle comparison of the energy, environmental and economic impacts of coal versus wood pellets for generating heat in China. **Energy**, [s.l.], n. 120, p. 374-384, 2017.

WILLUMSEN, H. C. **Energy Recovery From landfill gas in Denmark and Worldwide.** LGF Consult, Denmark, 1999.

WINQUIST, E.; RIKKONEN, P.; PYYSIAINEN, J.; VARHO, V. Is biogas an energy or a sustainability product? -Business opportunities in the Finnish biogas branch. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 233, p. 1344-1354, 2019.

ZAGO, V. C. P.; BARROS, R. T. V. Gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos no Brasil: do ordenamento jurídico à realidade. **Eng Sanit Ambient**, [s.l.], v. 24, n. 2, mar./abr. p. 219-228, 2019.

ANEXOS

ANEXO A - E-mail de aceite e estrato superior Qualis/Capes do artigo publicado na Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais (RICA) – ISSN 2179-6858. O periódico possui estrato superior em Ciências Ambientais, na classificação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)



CLAUDIONOR DE OLIVEIRA SILVA claudionor.silva@universo.univates.br

[RICA] Decisão editorial
1 mensagem

Carlos Eduardo Silva carlos.eduardo@cbpciencia.com.br 27 de março de 2020 15:56

Para: Claudionor de Oliveira silva <claudionor.silva@universo.univates.br>, Odorico Konrad <okonrad@univates.br>, Nélia Henriques Callado <nelia.callado@yahoo.com.br>, Liz Geise Santos de Araujo <lizaraujoeng@gmail.com>, Camila Hasan <chasan@universo.univates.br>

Claudionor de Oliveira silva, Odorico Konrad, Nélia Henriques Callado, Liz Geise Santos de Araujo, Camila Hasan,

Foi tomada uma decisão sobre o artigo submetido à revista Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, **"RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DE MACEIÓ-AL: ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA SOB INFLUÊNCIAS SAZONAIS"**.

É com muita satisfação que informamos que seu artigo foi ACEITO para publicação na edição da Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais (RICA V11 N03 2020), QUALIS Referência B1 (2017-2020), para lançamento em até 60 dias após pagamento (com exceção de atraso por falta de quantidade mínima de artigos na edição), da Sustenere Publishing (selo editorial da CBPC - Companhia Brasileira de Produção Científica).

The screenshot shows the Sucupira platform interface. At the top, there is a header with the Sucupira logo and a button labeled 'ACESSO RESTRITO'. Below the header, there is a navigation bar with 'INÍCIO >> Qualis >> Qualis Periódicos'. The main content area is titled 'Qualis Periódicos' and contains a search form. The form has several fields: 'Evento de Classificação' (set to 'CLASSIFICAÇÕES DE PERIÓDICOS QUADRIÊNIO 2013-2016'), 'Área de Avaliação' (set to 'CIÊNCIAS AMBIENTAIS'), 'ISSN' (set to '2179-6858'), 'Título' (set to 'Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais'), and 'Classificação' (set to 'B1'). There are 'Consultar' and 'Cancelar' buttons at the bottom of the form. Below the form, there is a table titled 'Periódicos' with the following data:

ISSN	Título	Área de Avaliação	Classificação
2179-6858	REVISTA IBERO-AMERICANA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS	CIÊNCIAS AMBIENTAIS	B1

ANEXO B - E-mail de aceite e estrato superior Qualis/Capes do artigo publicado na Revista em Agronegócio e Meio Ambiente (RAMA) - ISSN 1981-9951. O periódico possui estrato superior em Ciências Ambientais, na classificação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)

29/07/2020

E-mail de Univates - [RAMA] Decisão editorial



CLAUDIONOR DE OLIVEIRA SILVA claudionor.silva@universo.univates.br

[RAMA] Decisão editorial

1 mensagem

Dra. Josiane Barbosa Gouvêa <josiane.gouvea@ifpr.edu.br> 29 de julho de 2020 11:14

Para: Claudionor de Oliveira Silva <claudionor.silva@universo.univates.br>, Odorico Konrad <okonrad@univates.br>, Nélia Henriques Callado <nelia.callado@yahoo.com.br>, Anny Kariny Feitosa <akfeitosa@hotmail.com>, Liz Geise Santos de Araujo <lizaraujoeng@gmail.com>


Claudionor de Oliveira Silva, Odorico Konrad, Nélia Henriques Callado, Anny Kariny Feitosa, Liz Geise Santos de Araujo,

Temos a satisfação de informar que o artigo intitulado "**Discretização da estimativa da geração per capita e análise gravimétrica de resíduos sólidos urbanos.**" de autoria Claudionor de Oliveira Silva, Odorico Konrad, Nélia Henriques Callado, Anny Kariny Feitosa, Liz Geise Santos de Araujo FOI ACEITO e, será publicado em edição a ser definida pela revista Revista em Agronegócio e Meio Ambiente (ISSN 2176-9168 online).

Atenciosamente,

Dra. Josiane Barbosa Gouvêa IFPR - Instituto Federal do Paraná Telefone 45 99935-2645
josiane.gouvea@ifpr.edu.br

Profa. Dra. Josiane Barbosa Editora-Chefe Revista em Agronegócio e Meio Ambiente
<http://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/index>

ACESSO RESTRITO

INÍCIO >> Qualis >> Qualis Periódicos

Qualis Periódicos

* Evento de Classificação:

CLASSIFICAÇÕES DE PERÍODICOS QUADRIÊNIO 2013-2016

Área de Avaliação:

☒ CIÊNCIAS AMBIENTAIS

ISSN:

☒ 1981-9951

Título:

☒ Revista em Agronegócio e Meio Ambiente

Classificação:

☒ B1

[Consultar](#) [Cancelar](#)

Periódicos

ISSN	Título	Área de Avaliação	Classificação
1981-9951	RAMA - REVISTA EM AGRONEGÓCIO E MEIO AMBIENTE	CIÊNCIAS AMBIENTAIS	B1

ANEXO C - E-mail de aceite e estrato superior Qualis/Capes do artigo publicado na Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais (RICA) – ISSN 2179-6858. O periódico possui estrato superior em Ciências Ambientais, na classificação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)



CLAUDIONOR DE OLIVEIRA SILVA claudionor.silva@universo.univates.br

[RICA] Decisão editorial

1 mensagem

Carlos Eduardo Silva carlos.eduardo@cbpciencia.com.br 3 de fevereiro de 2020 07:11

Para: claudionor de Oliveira silva <claudionor.silva@universo.univates.br>, Odorico Konrad <okonrad@univates.br>, Nélia Henriques Callado <nelia.callado@yahoo.com.br>, Munique Marder <mmarder@univates.br>, Liz Geise Santos de Araujo <lizaraujoeng@gmail.com>

Claudionor de Oliveira silva, Odorico Konrad, Nélia Henriques Callado, Munique Marder, Liz Geise Santos de Araujo,

Foi tomada uma decisão sobre o artigo submetida à revista Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais, **"RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS DOMÉSTICOS COMO SUBSTRATO POTENCIAL PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS"**.

É com muita satisfação que informamos que seu artigo foi ACEITO para publicação na edição da Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais (RICA V11 N02 2020), QUALIS Referência B1 (2017-2020), para lançamento em até 60 dias após pagamento (com exceção de atraso por falta de quantidade mínima de artigos na edição), da Sustenere Publishing (selo editorial da CBPC - Companhia Brasileira de Produção Científica).




Carlos Eduardo Silva

CBPC - Companhia Brasileira de Produção Científica Telefone (79) 3021-3279
carlos.eduardo@cbpciencia.com.br

Equipe Editorial

Sustenere Publishing

CBPC - Companhia Brasileira de Produção Científica <http://www.sustenere.co>

 ACESSO RESTRITO

INÍCIO >> Qualis >> Qualis Periódicos

Qualis Periódicos

* Evento de Classificação:

CLASSIFICAÇÕES DE PERIÓDICOS QUADRIÊNIO 2013-2016 ▼

Área de Avaliação:

☒ CIÊNCIAS AMBIENTAIS ▼ +

ISSN:

☒ 2179-8058

Título:

☒ Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais

Classificação:

☒ B1 ▼

[Consultar](#) [Cancelar](#)

Periódicos

ISSN	Título	Área de Avaliação	Classificação
2179-8058	REVISTA IBERO-AMERICANA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS	CIÊNCIAS AMBIENTAIS	B1

ANEXO D - E-mail de aceite e estrato superior Qualis/Capes do artigo publicado na Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais (RICA) – ISSN 2179-6858. O periódico possui estrato superior em Ciências Ambientais, na classificação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)



CLAUDIONOR DE OLIVEIRA SILVA claudionor.silva@universo.univates.br

[RICA] Decisão editorial

1 mensagem

Carlos Eduardo Silva carlos.eduardo@cbpciencia.com.br 9 de maio de 2020 17:37

Para: claudionor de Oliveira silva <claudionor.silva@universo.univates.br>, Odorico Konrad <okonrad@univates.br>, Nélia Henriques Callado <nelia.callado@yahoo.com.br>, Munique Marder <mmarder@univates.br>, Liz Geise Santos de Araujo <lizaraujoeng@gmail.com>

Claudionor de Oliveira silva, Odorico Konrad, Nélia Henriques Callado, Munique Marder, Liz Geise Santos de Araujo,

Foi tomada uma decisão sobre o artigo submetida à revista Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais, "**GERAÇÃO QUANTITATIVA E QUALITATIVA DA EMISSÃO DE BIOGÁS NO ATERRO SANITÁRIO DE MACEIÓ**".

É com muita satisfação que informamos que seu artigo foi ACEITO para publicação na edição da Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais (RICA V11 N05 2020), QUALIS Referência B1 (2017-2020), para lançamento até setembro de 2020 (data limite da edição, com grande probabilidade de antecipação, como ocorreu com as anteriores), da Sustenere Publishing (selo editorial da CBPC - Companhia Brasileira de Produção Científica).




Carlos Eduardo Silva

CBPC - Companhia Brasileira de Produção Científica Telefone (79) 3021-3279
carlos.eduardo@cbpciencia.com.br

Equipe Editorial

Sustenere Publishing

CBPC - Companhia Brasileira de Produção Científica <http://www.sustenere.co>

 ACESSO RESTRITO

INÍCIO » Qualis » Qualis Periódicos

Qualis Periódicos

* Evento de Classificação:

CLASSIFICAÇÕES DE PERIÓDICOS QUADRIÊNIO 2013-2016 ▼

Área de Avaliação:

☒ CIÊNCIAS AMBIENTAIS ▼ +

ISSN:

☒ 2179-8858

Título:

☒ Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais

Classificação:

☒ B1 ▼

[Consultar](#) [Cancelar](#)

Periódicos

ISSN	Título	Área de Avaliação	Classificação
2179-8858	REVISTA IBERO-AMERICANA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS	CIÊNCIAS AMBIENTAIS	B1

ANEXO E - E-mail de envio e estrato superior Qualis/Capes do artigo submetido para avaliação na Revista Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science - ISSN - 2238-8869. O periódico possui estrato superior em Ciências Ambientais, na classificação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)

31/10/2020

E-mail de Univates - [Fronteiras] Agradecimento pela submissão - GERAÇÃO DE BIOGÁS NO ATERRO SANITÁRIO DE MACEIO A P...



CLAUDIONOR DE OLIVEIRA SILVA <claudionor.silva@universo.univates.br>

[Fronteiras] Agradecimento pela submissão - GERAÇÃO DE BIOGÁS NO ATERRO SANITÁRIO DE MACEIO A PARTIR DE MODELOS EMPÍRICOS

1 mensagem

Carlos Christian Della Giustina <periodicos.unievangelica@gmail.com>

31 de outubro de 2020 03:14

Responder a: Carlos Christian Della Giustina <fronteiras.journal@unievangelica.edu.br>

Para: Claudionor de Oliveira Silva <claudionor.silva@universo.univates.br>

Claudionor de Oliveira Silva,

Agradecemos a submissão do trabalho "GERAÇÃO DE BIOGÁS NO ATERRO SANITÁRIO DE MACEIO A PARTIR DE MODELOS EMPÍRICOS" para a revista Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science. Acompanhe o progresso da sua submissão por meio da interface de administração do sistema, disponível em:

URL da submissão: <http://periodicos.unievangelica.edu.br/index.php/fronteiras/authorDashboard/submission/4826>

Login: claudionor

Em caso de dúvidas, entre em contato via e-mail.

Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de compartilhar seu trabalho.


--


Carlos Christian Della Giustina (Editor Chefe)

Iransé Oliveira Silva (Editor)

Vivian da Silva Braz (Editor)

Revista Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Sciencefronteiras.journal@unievangelica.edu.br - <http://periodicos.unievangelica.edu.br/fronteiras/>




ACESSO RESTRITO

INÍCIO » Qualis » Qualis Periódicos

Qualis Periódicos

* Evento de Classificação:

CLASSIFICAÇÕES DE PERÍODICOS QUADRIÊNIO 2013-2016 ▼

Área de Avaliação:

☒ CIÊNCIAS AMBIENTAIS ▼ +

ISSN:

☒ 2238-8869

Título:

☒ Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science

Classificação:

☐ -- SELECIONE -- ▼

Consultar Cancelar

Periódicos

ISSN	Título	Área de Avaliação	Classificação
2238-8869	FRONTEIRAS: JOURNAL OF SOCIAL, TECHNOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCE	CIÊNCIAS AMBIENTAIS	B1



UNIVATES

R. Avelino Talini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil
CEP 95914.014 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000
www.univates.br | 0800 7 07 08 09